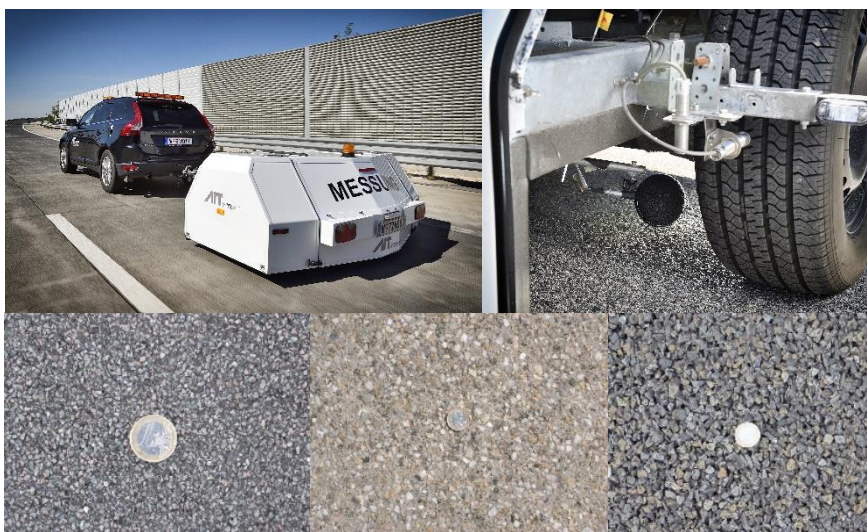


Rollgeräuschmessung auf Straßenoberflächen – Evaluierung und Aktualisierung ROSALIA

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2019
(VIF 2019)

10/2022



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

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

 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-
Aktiengesellschaft
Austro Tower
Schnirchgasse 17
1030 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 4
1210 Wien



TAS SV-GmbH
Emil-Rathenau-Straße 1
4030 Linz



Ziviltechnikerbüro DI Dr. Christian Kirisits
Kolpinggasse 10
A-7423 Pinkafeld



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
1090 Wien



Rollgeräuschmessung auf Straßenoberflächen – Evaluierung und Aktualisierung ROSALIA

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2019)

AutorInnen:

Dipl.-Ing. Manfred HAIDER

Dipl.-Ing. Reinhard WEHR

Dipl.-Ing. Bernhard BAUMGARTNER

Dipl.-Ing. Heinz HOISLBAUER

Dr. Christian KIRISITS

Auftraggeber:

Bundesministerium für Klimaschutz

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

TAS SV-GmbH

Ziviltechnikerbüro DI Dr. Christian Kirisits

KURZFASSUNG

Im Forschungsprojekt ROSALIA wurden die in Österreich eingesetzten lärmarmen Fahrbahndecken und die wichtigsten zur Messung ihres Einflusses auf das Reifenrollgeräusch zur Verfügung stehenden Messverfahren analysiert. Dies stellt eine wichtige Voraussetzung dafür da, lärmindernde Fahrbahndecken so wie Lärmschutzwände als effiziente Lärminderungsmaßnahmen für den Straßenverkehr einzusetzen. Dabei wurden die österreichischen lärmindernden Fahrbahndecken und die an sie gestellten Anforderungen im internationalen Vergleich betrachtet. Zudem wurden auch auf Basis des aktuellen Forschungsstandes die wesentlichen bautechnischen Parameter lärmarmen Fahrbahndecken identifiziert. Da in Österreich schon seit 1997 mit der RVS 11.06.64 [1] ein akustisches Abnahmeverfahren auf Basis eines Rollgeräusch-Messanhängers für lärmarme Fahrbahndecken existiert, stellte sich mit der Veröffentlichung des auf einem ähnlichen Prinzip basierenden Messverfahrens der ISO 11819-2 [2] im Jahre 2017 die Frage eines möglichen Überganges auf das neue Messverfahren. In ROSALIA wurde der Zusammenhang zwischen diesen beiden mobilen Verfahren untersucht, wobei sich eine gute Korrelation ergab. Überdies wurde auch die Korrelation der Ergebnisse nach ISO 11819-2 und der Vorbeifahrtmessungen am Straßenrand nach ISO 11819-1 [4] untersucht, welche für die Festlegung von Lärmemissionsparametern zur Schallausbreitungsberechnung wichtig sind. Auf Basis dieser Korrelationen wurden die wesentlichen technischen Fragen, die bei einem Übergang von der RVS 11.06.64 zur ISO 11819-2 auftreten, analysiert und diesbezügliche Empfehlungen erarbeitet. Überdies wurden auch Vorschläge für eine Anpassung der Grenzwerte für lärmarme Fahrbahndecken entweder auf Basis der existierenden Grenzwerte oder abgeleitet aus den Emissionsparametern für die Ausbreitungsberechnung nach RVS 04.02.11:2021 [5] erstellt. Diese Vorschläge können nach Projektende von den zuständigen Gremien als Basis für die Überarbeitung der betroffenen Richtlinien verwendet werden. Damit leistete das Projekt einen wichtigen Beitrag zum wirksamen Einsatz lärmarmen Fahrbahndecken im österreichischen Straßennetz.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	9
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung	11
2 Projektziele	12
3 Internationaler Vergleich der Anforderungen an lärm mindernde Fahrbahndecken	14
3.1 Übersicht	14
3.2 Österreich	14
3.3 Deutschland.....	18
3.4 Schweiz	20
3.5 Niederlande	23
3.6 Großbritannien und Nordirland.....	26
3.7 Frankreich.....	27
3.8 Belgien - Flandern	28
3.9 Spanien	28
3.10 Italien	28
3.11 Dänemark	29
3.12 Schweden.....	29
3.13 Tschechische Republik	30
3.14 Zusammenfassender Vergleich.....	30
4 Bautechnische Anforderungen an lärm mindernde Fahrbahndecken	32
5 Datenbasis für Auswertungen	37
6 Korrelation RVS-CPX	42
7 Korrelation CPX-SPB und Schlussfolgerungen für Schallemissionsparameter	48
8 Technische Basis für eine neue RVS 11.06.64 und neue Grenzwerte	57
8.1 Vorschläge für technische und organisatorische Festlegungen	59
8.2 Grenzwerte	63
9 Zusammenfassung und Ausblick.....	74

10	Literaturverzeichnis.....	76
11	Anhang.....	79

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Festlegung von Modellkorrekturen bei der Erhebung des Ist-Zustandes (aus Leitfaden Straßenlärm, Anhang 1b).....	21
Abbildung 2: Lage der übermittelten Teilabschnitte (orange) sowie tatsächlich befahrene Strecken (CPX: blau, RVS: grün) im hochrangigen Straßennetz bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80km/h.....	38
Abbildung 3: Altersverteilung vorhandener Deckschichttypen des gesamten Straßennetzes (AS-Netz) und der mittels CPX-Methode (orange) und RVS-Methode (grün) befahrenen Abschnitte.....	39
Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Rollgeräuschpegel der mittels CPX-Methode (blau) und RVS-Methode (grün) befahrenen Abschnitte.....	40
Abbildung 5: Geographische Übersicht der im Projekt ROSALIA mittels CPX und SPB-Methode analysierten Messstellen.....	41
Abbildung 6: Dichteverteilung der RVS - und CPX – Pegel bei 80 km/h für alle Fahrbahndecken.....	42
Abbildung 7: Dichteverteilung der RVS - und CPX – Pegel bei 100 km/h für alle Fahrbahndecken.....	43
Abbildung 8: Korrelation der RVS-CPX – Pegel mittels LOWESS-Regression bei 80 km/h für alle Fahrbahndecken (oben) sowie für Beton, SMA-S1 und SMA-S3 getrennt (unten). Jeder Datenpunkt entspricht einem über 100m – Abschnitt gemittelten Pegel auf dem jeweiligen Belag.....	44
Abbildung 9: Korrelation der RVS-CPX – Pegel mittels LOWESS-Regression bei 100 km/h für alle Fahrbahndecken (oben) sowie für Beton, SMA-S1 und SMA-S3 getrennt (unten). Jeder Datenpunkt entspricht einem über 100m – Abschnitt gemittelten Pegel auf dem jeweiligen Belag.....	45
Abbildung 10: Frequenz aufgelöste Korrelation der RVS- und CPX – Pegel bei 80 km/h für einzelne Terzbänder.....	47
Abbildung 11: Exemplarische SPB-Messergebnisse. Ergebnisse für die drei Fahrzeuggruppen PKW (links), schwere LKW (Mitte) und kontrollierte Vorbeifahrten (rechts). Die Schallereignispegel L_{AE} der PKW (links), schweren LKW (mittig) und kontrollierte Vorbeifahrten (rechts) sind gegen die logarithmierten Geschwindigkeiten aufgetragen und lineare Regressionen gebildet.....	50
Abbildung 12: Lineare Regressionen der energieäquivalenten Dauerschallpegel für PKW (Kategorie 1, Kreise), LKW (Kategorie 3, Quadrate) und kontrollierte Vorbeifahrten (Kategorie CPB1, Punkte) in Abhängigkeit vom L_{CPX}-Pegel.....	51
Abbildung 13: Bestimmtheitsmaß für PKWs (oben, blau), LKWs (mittig, orange) und kontrollierte Vorbeifahrten (unten, grün).....	53

Abbildung 14: Standardabweichungen der Residuen für PKWs (oben, blau), LKWs (mittig, orange) und kontrollierte Vorbeifahrten (unten, grün).	54
Abbildung 15: Steigung der linearen Regressionen für PKWs (oben, blau), LKWs (mittig, orange) und kontrollierte Vorbeifahrten (unten, grün).	55
Abbildung 16: Korrelation der CPX-Terzbandpegel (Abszisse) mit den SPB-Terzbandpegeln (Ordinate) für PKWs (links), LKWs (mittig) und kontrollierte Vorbeifahrten (rechts) bei 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten).	56
Abbildung 17: Lineare Regressionen der LCPX-Pegel in Abhängigkeit von den energieäquivalenten Dauerschallpegeln für PKW (Kategorie 1, Kreise), LKW (Kategorie 3, Quadrate) und kontrollierte Vorbeifahrten (Kategorie CPB1, Punkte) für 80 km/h.	67
Abbildung 18: Lineare Regressionen der LCPX-Pegel in Abhängigkeit von den energieäquivalenten Dauerschallpegeln für PKW (Kategorie 1, Kreise), LKW (Kategorie 3, Quadrate) und kontrollierte Vorbeifahrten (Kategorie CPB1, Punkte) für 100 km/h.	68

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Derzeitige Grenzwerte für das Reifenrollgeräusch, gemessen nach RVS 11.06.64 ...	15
Tabelle 2: Korrektur-Emissionsparameter in Tabelle 11 der RVS 04.02.11:2021 für die Berücksichtigung des Einflusses der Fahrbahndecken auf das Rollgeräusch von PKWs.....	17
Tabelle 3: Auszug aus der RLS-19 zur Deckschichtkorrektur lärmindernder Fahrbahndecken	
.....	18
Tabelle 4: Belagskennwerte für neue Beläge nach [21]	22
Tabelle 5: Kategorisierung der Deckschichten aufgrund des Hohlraumgehaltes am Marshall-Prüfkörper	23
Tabelle 6: In der niederländischen Ausbreitungsberechnung berücksichtigbare Deckschichttypen für PKWs	25
Tabelle 7: Ländervergleich zum Thema lärmarme Fahrbahndecken und Abnahmeverfahren ...	31
Tabelle 8: Übersicht der Anteile befahrener Belagstypen	38
Tabelle 9: Übersicht der Regressionsparameter für die CPX-RVS-Regression	46
Tabelle 10: Übersicht aller Messstellen, an welchen CPX- und SPB-Messungen durchgeführt wurden.....	49
Tabelle 11: Übersicht der Regressionsparameter für die SPB-CPX-Regression für PKW	52
Tabelle 12: Übersicht der Regressionsparameter für die SPB-CPX-Regression für LKW	52
Tabelle 13: Grenzwertvorschläge für das Reifenrollgeräusch nach ISO 11819-2 basierend auf der RVS-CPX-Korrelation	65
Tabelle 14: Übersicht der Regressionsparameter für die CPX-SPB-Regression für 80 km/h	67
Tabelle 15: Übersicht der Regressionsparameter für die CPX-SPB-Regression für 100 km/h ...	68
Tabelle 16: Grenzwertvorschläge basierend auf CPX-SPB-Regressionen und Emissionsparametern für 80 km/h und PKW	69
Tabelle 17: Grenzwertvorschläge basierend auf CPX-SPB-Regressionen und Emissionsparametern für 100 km/h und PKW	69
Tabelle 18: Übersicht der Regressionsparameter für die umgekehrte SPB-CPX-Regression für PKW	70
Tabelle 19: Grenzwertvorschläge basierend auf SPB-CPX-Regressionen und Emissionsparametern für 80 km/h und PKW	71
Tabelle 20: Grenzwertvorschläge basierend auf SPB-CPX-Regressionen und Emissionsparametern für 100 km/h und PKW	71

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Bedeutung
AB	Asphaltbeton
CPB	Controlled-Pass-By-Verfahren, Variante von SPB mit ausgewählten Testfahrzeugen
CPX	Close-Proximity-Verfahren nach ISO 11819-2
FSV	Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, www.fsv.at
GK	Größtkorn
LCPX	Messergebnis des CPX-Verfahrens
LMA	Messergebnis des Verfahrens nach RVS 11.06.64:1997
OPA	Offenporiger Asphalt
RVS	Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau
RVS-Verfahren	Verfahren nach RVS 11.06.64:1997
SDA	Semidichter Asphalt
SMA	Splitt-Mastix-Asphalt
SPB	Statistical Pass-By-Verfahren nach ISO 11819-1
WB	Waschbeton

1 EINLEITUNG

Lärmindernde Fahrbahndecken stellen neben Lärmschutzwänden eine der wichtigsten Möglichkeiten für Straßenbetreiber dar, das Reifenrollgeräusch der Fahrzeuge direkt an der Quelle zu reduzieren und damit die Lärmbelastung aus dem Straßenverkehr in Österreich zu verringern und die Einhaltung der diesbezüglichen Grenzwerte kosteneffizient zu erreichen. Um die lärmindernden Eigenschaften solcher Fahrbahndecken zu gewährleisten und zu verifizieren, werden einerseits Anforderungen an die akustischen und nichtakustischen Parameter dieser Fahrbahndecken gestellt, und andererseits das Rollgeräusch im Rahmen einer Abnahmeprüfung gemessen und mit Grenzwerten verglichen. Das entsprechende Messverfahren für das österreichische hochrangige Straßennetz ist derzeit in der Richtlinie RVS 11.06.64 [1] festgelegt (im Folgenden RVS-Verfahren genannt) und basiert auf der Messung des Schalldruckpegels eines auf der untersuchten Fahrbahnoberfläche abrollenden Messreifens durch zwei im Nahfeld angebrachte Mikrofone innerhalb eines Anhängers mit schallabsorbierender Abdeckhaube. Dieses Verfahren stammt aus dem Jahr 1997 und ist durch die Veröffentlichung des auf einem ähnlichen Prinzip basierenden Close-ProXimity-Verfahrens (im Folgenden CPX-Verfahren genannt) in der internationalen Norm ISO 11819-2 [2] im Jahr 2017 inzwischen nicht mehr Stand der Technik. Das CPX-Verfahren basiert ebenfalls auf einer akustischen Nahfeldmessung, verwendet aber unter anderem realitätsnähere Reifen und andere Mikrofonpositionen. Im Projekt ROSALIA wurde der Zusammenhang zwischen Rollgeräuschmessungen nach diesen beiden Verfahren auf österreichischen Fahrbahndecken untersucht, wodurch eine wissenschaftliche Basis für die Aktualisierung der RVS 11.06.64 und der mit dem Verfahren verbundenen Grenzwerte auf Basis ISO 11819-2 bildet. Darüber hinaus wurde auch der Zusammenhang mit dem alternativen Messverfahren nach ISO 11819-1 [4] (Statistical Pass-By-Verfahren, im Folgenden SPB-Verfahren genannt) analysiert, welches häufig für die Ermittlung von akustischen Emissionsparametern für Fahrbahndecken in der Lärmimmissionsberechnung herangezogen wird. Eine gute Korrelation mit dem SPB-Verfahren würde eine kosteneffiziente lärmtechnische Untersuchung langer Fahrbahndeckenabschnitte ermöglichen. Im Projekt ROSALIA wurden die in Österreich verwendeten lärmarmen Fahrbahndecken und die für sie geltenden Anforderungen auch mit internationalen Beispielen für leise Fahrbahnbeläge verglichen und der Einfluss nichtakustischer Parameter auf die Lärmeigenschaften betrachtet. Damit trägt ROSALIA zum wirksamen und kosteneffizienten Einsatz lärmarmen Fahrbahndecken im österreichischen Straßennetz bei.

2 PROJEKTZIELE

Im Rahmen des Forschungsprojektes ROSALIA sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- 1) Welche internationalen Anforderungen an Rollgeräusche von lärm mindernden Deckschichten sind vorhanden, und entsprechen die derzeitigen österreichischen Sollwerte noch dem Stand der Technik?
- 2) Welche lärm mindernden Deckschichttypen haben sich international bewährt, und welchen Einfluss haben das Größtkorn und andere lärm mindernde Parameter auf die Rollgeräusche?
- 3) Welche Korrelation besteht zwischen den Messergebnissen einer Rollgeräuschmessung nach RVS 11.06.64 und einer Nahfeldmessung nach ÖNORM EN ISO 11819-2 für charakteristische Deckschichttypen in Österreich?
- 4) Welche Korrelation besteht bei den typisch österreichischen Deckschichten zwischen den Messergebnissen des SPB-Verfahrens nach ÖNORM EN ISO 11819-1 und des CPX-Verfahrens gemäß ÖNORM EN ISO 11819-2?

Die Forschungsfrage 1 zielte auf den Vergleich der österreichischen Regelwerke für das Abnahmeverfahren und die Abnahmegrenzwerte mit ihren internationalen Gegenstücken. Hierzu wurden im Task 2.1 des Arbeitspakets 2 (AP2) dieses Projektes Informationen aus vergleichbaren Ländern eingeholt. Neben den sprachlichen Barrieren stellten hier auch die trotz der Vereinheitlichungsbemühungen auf europäischer Ebene noch immer recht unterschiedlichen nationalen Systeme in diesem Bereich eine Herausforderung dar. Zudem existieren sowohl verschiedene Deckentypen wie auch verschiedene Bezeichnungen ähnlicher oder gleicher lärmarmen Deckentypen in verschiedenen Ländern. Letztlich ist auch feststellbar, dass die bautechnischen Bezeichnungen die akustischen Eigenschaften oft nicht ausreichend festlegen.

Forschungsfrage 2), gliederte sich in 2 Teile. Einerseits sollten im Projekt die international bewährten lärmarmen Deckschichttypen erhoben werden, andererseits stellte sich die grundsätzliche Frage, welcher Zusammenhang zwischen bautechnischen Parametern wie dem Größtkorn und den akustischen Eigenschaften besteht. Während die erste Teilfrage im Rahmen der Bearbeitung der Forschungsfrage 1) in Task 2.1 effizient miterhoben werden konnte, war die zweite Teilfrage wesentlich grundlegenderer Natur und Gegenstand laufender Forschungen. Hier wurden in ROSALIA die schon bestehenden Anforderungen an die

nichtakustischen Parameter sowie der Forschungsstand dargestellt, was in Task 2.2 des AP2 dieses Projektes ausgeführt wurde.

Das Ergebnis der Bearbeitung von Forschungsfrage 1) und 2) in AP2 stellt der geforderte internationale Vergleich der lärmarmen Fahrbahndecken und der für sie geltenden Anforderungen sowie die Identifikation der für erfolgreiche lärmarme Fahrbahndecken maßgeblichen Parameter dar.

Die Forschungsfrage 3) zielte direkt auf den Zusammenhang der Messwerte nach dem derzeitigen RVS-Messverfahren und den zu erwartenden Änderungen beim Übergang zur CPX-Methode. Neben der Korrelation der Messwerte für in Österreich relevante Deckschichttypen waren auch die weiteren technischen Rahmenbedingungen für das aktualisierte Messverfahren wie beispielsweise Messabschnittslängen, zu wählende Messgeschwindigkeiten oder Anzahl der Überfahrten zu klären. Über die Anpassung der RVS 11.06.64 selbst hinaus stellte sich auch die Frage, wie neue Grenzwerte für die RVS 08.16.01 [6] für Asphaltdecken und die RVS 08.17.02 [7] für Betondecken effizient erarbeitet werden können, da sich die Messverfahren doch in wichtigen Details unterscheiden. Bei guter Korrelation zwischen dem RVS- und dem CPX-Verfahren war eine direkte Umrechnung die einfachste Option. Als zweite Option wurde auch die Rückrechnung von den zur Einhaltung bestimmter Immissionsgrenzwerte erforderlichen Emissionsparametern auf die Abnahmegrenzwerte untersucht. Die entsprechenden Ergebnisse aus AP4 bilden die technische Basis für eine zukünftige Überarbeitung der RVS 11.06.64 und für Empfehlungen für die Anpassung der akustischen Grenzwerte und deren Struktur in RVS 08.16.01 und RVS 08.17.02 sein.

Forschungsfrage 4) behandelte die Korrelation zwischen den akustischen Messwerten des CPX-Verfahrens aus dem Nahfeld des Reifen-Fahrbahn-Kontaktes und den Schalldruckpegeln, die beim SPB-Verfahren am Straßenrand gemessen werden. Da letztere auch als Basis für die Emissionsparameter von Schallausbreitungs- und Schallimmissionsberechnungen herangezogen werden könnten, ist eine gute Korrelation auch die Voraussetzung dafür, aus Abnahme- und Monitoringmessungen mit dem CPX-Verfahren solche Emissionsparameter für die RVS 04.02.11 [5] abzuleiten, und damit den Übergang zu einem geschlossenen konsistenten System für die akustische Bewertung und den Einsatz lärmarmen Fahrbahndecken zu ermöglichen. Die Untersuchungen wurden auch unter Einbeziehung aktueller Forschungen und der Erfahrungen aus der Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie und des vereinheitlichten Berechnungsverfahrens der EU-Richtlinie 2015/996 [9] in AP4 durchgeführt.

3 INTERNATIONALER VERGLEICH DER ANFORDERUNGEN AN LÄRMMINDERNDE FAHRBAHNDECKEN

3.1 Übersicht

Im Zuge der Erhebung der Daten für den Vergleich der Anforderungen an lärmindernde Fahrbahndecken in Österreich wurden die Forschungsfragen folgendermaßen konkretisiert:

- Welche lärmarmen Fahrbahndecken werden in anderen Ländern eingesetzt und wie sind die nationalen Erfahrungen damit? Wie sind diese Fahrbahndecken bautechnisch definiert und sind diese Decken vergleichbar mit den österreichischen Fahrbahndecken aus der RVS 04.02.11 oder den Decken aus der Richtlinie (EU) 2015/996?
- Welche Verfahren und Abnahmemessungen werden zur Sicherstellung der lärmindernden Eigenschaften der Decken verwendet?
- Sind die Ergebnisse der akustischen Messungen in die Regelwerke zur Lärmimmissionsberechnung eingebunden?
- Welche Abnahmewerte werden als erforderlich angesehen, um die entsprechenden Emissionswerte in der Lärmimmissionsberechnung für eine Fahrbahndecke zu garantieren?

Die Datenlage bezüglich dieser Fragen erwies sich in den einzelnen Ländern als recht unterschiedlich, da nicht in allen Fällen die relevanten Dokumente existierten oder in einer zugänglichen Form vorhanden waren. Überdies werden nicht in allen Ländern Abnahmemessungen in derselben Art wie in Österreich durchgeführt, wodurch ein Vergleich über alle Länder nicht möglich war. Daher werden im Folgenden die pro Land erhebbaren Informationen dargestellt und im Anschluss daran aus den am besten vergleichbaren Daten Schlüsse abgeleitet.

3.2 Österreich

In Österreich finden sich lärmarme Fahrbahndecken in zwei unterschiedlichen Kontexten in den relevanten Regelwerken. Für die Abnahmeprüfung lärmarmen Fahrbahndecken nach deren Fertigstellung wird die RVS 11.06.64:1997 als Messverfahren für Abnahmemessungen herangezogen, das als Ergebnis sogenannte LMA-Werte in Dezibel (dB) liefert.

In Österreich sind die Grenzwerte bzw. Sollwerte für ausgewählte Fahrbahndeckentypen im hochrangigen Straßennetz, die als lärmarm angesehen werden, in den folgenden beiden RVS festgelegt:

- RVS 08.16.01:2019 Anforderungen an Asphaltdecken, Tabelle 12
- RVS 08.17.02:2011 Betondecken – Deckenherstellung, Tabelle 15

Die in diesen beiden RVS festgelegten Grenzwerte sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

RVS 08.16.01 Asphaltdecken	Maßgeblicher Rollgeräuschpegel LMA [dB]			
	Prüfnorm	RVS 11.06.64		
Deckschichten	Messgeschwindigkeit [km/h] (Netz)	100 (A/S)	80 (A/S, B/L)	50 (B/L, Ortsgebiet)
BBTM, SMA deck S3, PA P1, PA P2	Sollwerte	≤ 100	≤ 96	≤ 87
	Qualitätsabzug	-	-	-
	Keine Übernahme	> 100	> 96	> 87

RVS 08.17.02 Betondecken	Maßgeblicher Rollgeräuschpegel LMA [dB]		
	Prüfnorm	RVS 11.06.64	
Deckschicht	Messgeschwindigkeit [km/h]	100	50
WB ohne Lärm-anforderung	Sollwerte	-	-
WB GK8	Sollwerte	≤ 101	≤ 90
WB GK11	Sollwerte	≤ 102	-

Tabelle 1: Derzeitige Grenzwerte für das Reifenrollgeräusch, gemessen nach RVS 11.06.64

Folgende Eigenschaften des momentanen Grenzwertsystems sind erkennbar:

- Es gibt getrennte Grenzwertsysteme für Asphalt- und Betondecken.
- Es sind nicht für alle in der RVS 04.02.11 angeführten Fahrbahndecken Abnahmen und Abnahmegrenzwerte vorgesehen.
- Nur bei den Betonfahrbahndecken ist eine Differenzierung nach relevanten Parametern über den Deckentyp hinaus (in diesem Fall nach Größtkorn) vorgesehen.

- Als Messgeschwindigkeiten werden 50, 80 und 100 km/h herangezogen, wobei bei den Asphaltdecken die Messgeschwindigkeiten bestimmten Straßenkategorien zugeordnet werden, während bei Beton keine Grenzwerte für 80 km/h existieren.
- Es wird dasselbe Messverfahren verwendet (LMA-Werte der RVS 11.06.64), und auch numerisch liegen die Grenzwerte bei gleichen Geschwindigkeiten in einem ähnlichen Bereich.
- Die Grenzwerte sind auf ganze dB angegeben, sodass Messergebnisse ebenfalls auf ganze dB gerundet werden müssen.
- Die Konsequenzen bei Grenzwertüberschreitung sind unterschiedlich: Bei den Asphaltdecken ist eine Nichtübernahme vorgesehen, während die RVS 08.17.02 (Betondecken) in Abschnitt 10.6 einen quadratisch mit der Abweichung ansteigenden Qualitätsabzug vorsieht, wobei aber eine zusätzliche Messtoleranz von 1 dB zugunsten des Deckenherstellers berücksichtigt wird.

Der zweite Kontext, in dem lärmarme Fahrbahndecken im österreichischen Regelwerk vorkommen, sind die Emissionsparameter für verschiedene Fahrbahndecken im Rahmen der Schallimmissionsberechnung nach RVS 04.02.11 und ÖAL 28 [13], welche die nationale Umsetzung des Rechenverfahrens [9] der EU- Umgebungslärmrichtlinie [8] für die Lärmkartierung darstellen. In der RVS 04.02.11 finden sich in den Tabellen 11 und 12 frequenzabhängige Korrekturparameter für die Rollgeräusch-Emissionen für verschiedene Fahrbahndecken und Fahrzeugkategorien, wobei die Parameter für PKW beispielhaft in **Tabelle 2** wiedergegeben sind. Durch den Eingang dieser Parameter in die Schalimmissionsberechnung führen lärmarme Fahrbahndecken wie lärmmindernder Splitt-Mastix-Asphalt (SMA), lärmmindernder Waschbeton (WB) oder offenporiger Asphalt zu geringeren Immissionspegeln bei der Lärmberechnung. Eine direkte Klassifikation als lärmmindernd ist bei Betrachtung der Korrekturparameter nur bedingt möglich. Negative Werte der frequenzabhängigen α -Werte bedeuten zwar eine Pegelreduktion sowohl für Roll- als auch durch Absorption für das Antriebsgeräusch, beziehen sich aber auf eine abstrakte Referenzdecke. Der Parameter β beeinflusst die Steigung der geschwindigkeitsabhängigen Korrekturen, sodass positive Werte zu einem Pegelanstieg über 70 km/h, aber einer Reduktion unter 70 km/h führen. Diese geschwindigkeitsabhängige und gegenüber einer Referenzdeckenschicht normierte Konvention wäre bei einer Einteilung über α - und β - Werte entsprechend zu berücksichtigen.

Fahrbahndecke ¹⁾		α_{63}	α_{125}	α_{250}	α_{500}	α_{1000}	α_{2000}	α_{4000}	α_{8000}	β
Asphaltbeton	AC 8 deck, AC11 deck	0,0	0,0	0,0	- 0,1	- 0,7	- 0,5	- 0,1	0,0	- 3,3
Offenporiger Asphalt	PA 8, PA 11, PA 16	0,0	- 0,1	- 0,3	- 1,3	- 4,7	- 3,8	- 1,0	- 0,1	- 2,4
Lärmindernder Splittmastixasphalt ²⁾	SMA 8 deck S3	0,0	- 0,1	- 0,2	- 0,9	- 3,8	- 3,1	- 0,7	- 0,1	- 2,8
Splittmastixasphalt	SMA 11 deck S1, SMA 11 deck S2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	- 4,9
Waschbeton ³⁾	WB OB GK 11	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	0,7	0,1	0,0	- 1,0
Lärmindernder Waschbeton ⁴⁾	WB-LM OB GK 8	0,0	0,0	0,0	0,0	- 0,2	- 0,1	0,0	0,0	- 2,3

- 1) Technische Spezifikationen sind in den ÖNORMen B 3580-1, B 3580-2, B 3584-1, B 3584-2, B 3586-1, B 3586-2 und in RVS 08.16.01, RVS 08.16.06, RVS 08.17.02, RVS 08.97.05 und RVS 08.97.06 zu finden.
- 2) Abweichend von der ÖNORM B 3584-1 und RVS 08.16.01 mit einem Hohlraumgehalt von 9 bis 14 V.-% in der Deckschicht. Die Fahrbahndecken SMA 8 deck S3, welche diese Anforderungen an den Hohlraumgehalt nicht erfüllen, und jene der Type SMA11 deck S3 sind in die Kategorie Splittmastixasphalt einzuordnen.
- 3) Technische Spezifikation gemäß RVS 08.17.02, jedoch ohne Anforderungen an die Lärminderung
- 4) Technische Spezifikation gemäß RVS 08.17.02, jedoch mit den entsprechenden Anforderungen an die Lärminderung. Fahrbahndecken der Type WB-LM OB GK 11 sind in die Kategorie Waschbeton einzuordnen.

Tabelle 2: Korrektur-Emissionsparameter in Tabelle 11 der RVS 04.02.11:2021 für die Berücksichtigung des Einflusses der Fahrbahndecken auf das Rollgeräusch von PKWs

Derzeit sind nur für einen Teil der Fahrbahndecken aus der RVS 04.02.11 auch Abnahmemessungen nach RVS 11.06.64 vorgesehen, und zwar für lärmindernden Waschbeton, lärmindernden Splittmastixasphalt und offenporigen Asphalt, wobei letzterer inzwischen im österreichischen Straßennetz praktisch nicht mehr vorhanden ist. Obwohl die Einhaltung der Abnahmegrenzwerte für diese Fahrbahndecken prinzipiell die Verwendung der entsprechenden Emissionsparameter der RVS 04.02.11 erlaubt, ist derzeit kein direkter rechnerischer Zusammenhang zwischen den beiden Bereichen gegeben, d.h. es können keine Rollgeräuschmesswerte aus Emissionsparametern abgeleitet werden oder umgekehrt.

3.3 Deutschland

Basis der als lärmindernd angesehenen Deckschichten in Deutschland bildet die Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen – RLS-19 [14]. Darin werden Korrekturwerte für unterschiedliche Deckschichttypen für die Fahrzeugkategorien PKW und LKW angegeben, wobei diese Korrekturwerte sich jeweils auf den Referenzbelag „Gussasphalt“ beziehen. Aus der aus der RLS-19 stammenden **Tabelle 3** kann aufgrund des Geschwindigkeitsbereichs auf den typischen Einsatzzweck der Decke (inner- bzw. außerorts) rückgeschlossen werden. Die anzuwendenden bautechnischen Regelwerke der „Zusätzlichen Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien“ (ZTV Asphalt bzw. ZTV Beton) können ebenfalls der Tabelle entnommen werden.

Straßendeckschichttyp SDT	Straßendeckschichtkorrektur $D_{SD,SDT,FzG}(v)$ [dB] bei einer Geschwindigkeit v_{FzG} [km/h] für			
	Pkw		Lkw	
	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60
Nicht geriffelter Gussasphalt	0,0	0,0	0,0	0,0
Splittmastixasphalte SMA 5 und SMA 8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,6	0,0	-1,8	0,0
Splittmastixasphalte SMA 8 und SMA 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,6	-1,8	-1,8	-2,0
Asphaltbetone \leq AC 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,7	-1,9	-1,9	-2,1
Offenporiger Asphalt aus PA 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13	-2,7	-4,5	-1,9	-4,4
Offenporiger Asphalt aus PA 8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13	-2,7	-5,5	-1,9	-5,4
Betone nach ZTV Beton-StB 07 mit Waschbetonoberfläche	-2,7	-1,4	-1,9	-2,3
Lärmarmes Gussasphalt nach ZTV Asphalt-StB 07/13, Verfahren B	-2,7	-2,0	-1,9	-1,5
Lärmtechnisch optimierter Asphalt aus AC D LOA nach E LA D	-3,2	-2,0	-1,0	-1,5
Lärmtechnisch optimierter Asphalt aus SMA LA 8 nach E LA D	-3,2	-2,8	-1,0	-4,6
Dünne Asphaltdeckschichten in Heißbauweise auf Versiegelung aus DSH-V 5 nach ZTV BEA-StB 07/13	-3,9	-2,8	-0,9	-2,3

Tabelle 3: Auszug aus der RLS-19 zur Deckschichtkorrektur lärmindernder Fahrbahndecken

Splittmastixasphalt ist der am häufigsten verwendete Fahrbahnbelag im deutschen Fernstraßennetz [15]. SMA wird in zwei Ausführungen eingebaut: einerseits wird die Bauweise mit Absplittung in der RLS-19 dem Gussasphalt gleichgesetzt, nicht abgesplittete Splittmastixasphalte werden mit einer lärmindernden Wirkung von ca. 2 dB angegeben. Je

nach Verkehrsbelastung wird versucht, durch ein geringes Größtkorn eine lärmindernde Wirkung zu erzielen.

Der SMA LA unterscheidet sich von SMA durch eine veränderte Sieblinie, bei der der Anteil an feinen Gesteinskörnungen reduziert wird. Damit soll ein erhöhter, akustisch wirksamer Hohlraumgehalt (9 – 14%) erzielt werden. Die Lebensdauer dieser Deckschicht liegt über der des offenporigen Asphalttes, allerdings unter der des „klassischen“ SMA.

Splittmastixasphalte mit Größtkorn 5 mm sollen vor allem bei Straßen mit normaler Beanspruchung eine lärmindernde Wirkung erzielen (SMA 5 N). Auch hier können hohlraumreichere Varianten durch eine veränderte Sieblinie hergestellt werden (SMA 5 LA).

Die akustische Wirkung des lärmtechnisch optimierte AC D LOA unterscheidet sich vom „klassischen“ Asphaltbeton hierbei durch die angestrebte Oberflächentextur der Deckschicht. Ziel des AC D LOA ist eine konkave Oberflächentextur, die Reifenvibrationen verringern soll. Eine Lärminderung der Strömungsgeräusche ist durch den geringen Hohlraumgehalt nicht zu erwarten.

Offenporige Asphaltdeckschichten werden in Deutschland in erster Linie in Bereichen eingesetzt, in denen herkömmliche bauliche Lärmschutzmaßnahmen nicht möglich, nicht wirtschaftlich sinnvoll bzw. nicht mehr ausreichend sind. Die Wirkung soll hierbei durch die Verringerung von Strömungsgeräuschen beim Abrollen des Reifens erzielt werden, andererseits wirkt die Deckschicht am Ausbreitungsweg ebenfalls als poröser Absorber. Neben erhöhten Einbaukosten weisen offenporige Fahrbahndecken in Bezug auf das Erhaltungsmanagement einige Nachteile auf: einerseits kann die lärmtechnische Wirkung durch Verstopfung der Poren über die Lebensdauer verringert werden, ebenfalls führt die offenporige Struktur bei starken Belastungen zu Kornausbrüchen. Auch die Instandsetzung ist kompliziert, da der Wasserabfluss durch die Deckschicht, der zu einer Reduktion von Sprühhahnen bei Nässe führt, nicht gestört werden darf. Die akustische Wirksamkeit wird mit 8 Jahren, die bautechnische Haltbarkeit je nach Belastung mit 8 bis 12 Jahren angegeben.

DSH-V – dünne Asphaltdeckschichten in Heißbauweise auf Versiegelung – ist eine Erhaltungsbauweise, bei der Heißmischgut auf eine versiegelte Oberfläche aufgebracht wird. Die Lärminderung wird hier wie auch beim AC D LOA durch die konkave Oberflächentextur erreicht.

Asphaltbeton weist aufgrund der dichten Oberfläche und der damit einhergehenden ebenen Reifenauflagefläche eine geringe Reifenvibrationsanregung auf, die unter der des SMA angegeben wird. Damit wird ihm bei niedrigen Geschwindigkeiten eine gute lärmindernde

Wirkung zugeschrieben, bei höheren Geschwindigkeiten und zunehmendem Air Pumping geht dieser Vorteil gegenüber dem SMA verloren.

Waschbeton wird in Deutschland als Regelbauweise für Betonfahrbahndecken eingesetzt. Eine lärmoptimierte Bauweise ist möglich, wobei die Einbauqualität für das Erreichen einer lärmmindernden Wirkung essenziell ist. Zusätzlich werden derzeit Grinding-Strukturen bei Betonfahrbahndecken erprobt, die jedoch noch nicht Eingang in die RLS-19 gefunden haben.

In Deutschland besteht mit der TP-KoSD-19 [16] eine definierte Messprozedur, um D_{SD} -Werte für Deckschichten zu bestimmen, die dann als Emissionsparameter in die Lärmimmissionsberechnung eingehen. Diese basieren auf einer Kombination aus SPB- und CPX-Messungen, die an einer bestimmten Anzahl an Baulosen des jeweiligen Deckschichttyps durchgeführt werden müssen. Eine allgemeine Prüfung der akustischen Einbauqualität der lärmmindernden Deckschichten im Sinne einer Abnahmemessung ist in den deutschen Regelwerken jedoch nicht vorgeschrieben.

3.4 Schweiz

Ausgangspunkt für die Lärmsanierung an Schweizer Straßen ist der „Leitfaden Straßenlärm“ [17] des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Bundesamtes für Straßen (ASTRA). Die akustischen Eigenschaften von Straßenbelägen werden dort nach dem aktuellen Wissensstand berücksichtigt, wobei die Weiterentwicklung dauerhaft lärmarmen Beläge als wichtiger Forschungsschwerpunkt im Straßenwesen genannt wird. Der Einbau von lärmmindernden Belägen wird im Zuge dessen explizit als von BAFU und ASTRA gefördert genannt.

Die Schallimmissionsberechnung wird durch eine BAFU-Empfehlung in [17] geregelt: im Allgemeinen soll für die Berechnung von Straßenverkehrslärm die „STL-86+“ herangezogen werden, in begründeten Fällen kann auch das neuere Berechnungsverfahren „SonRoad“ angewandt werden.

Unterschiedliche lärmmindernde Fahrbahnbeläge werden in der SNR 640 425 [18] in ihren akustischen Eigenschaften beschrieben, die die Grundlagen für die Planung von lärmmindernden Decken schaffen soll. Die Zertifizierung der Lärmeigenschaften eines bestimmten Produkts erfolgt dabei aber nicht gemäß dieser Norm. Die Normierung des Belagstyps „SDA“ erfolgt beispielsweise in der SNR 640 436 [19], sodass in Ausschreibungen im Pflichtenheft entweder der Performance-orientierte Ansatz (Vorgabe der Lärmreduktion nach StL-86+ ohne der Möglichkeit der Kontrolle der mechanischen Eigenschaften der

verwendeten Materialien) oder der Zusammensetzungs-orientierte Ansatz (Vorgabe der mechanischen Eigenschaften nach SNR 640 436 ohne Anforderungen an die akustische Leistung festlegen zu können) gewählt werden muss [20].

Auch im Anhang 1b des „Leitfadens Straßenlärm“ [21] werden Belagskennwerte angegeben, dort wird auch beschrieben, dass soweit möglich Messungen für die Erfassung des Ist-Zustandes zur Kalibrierung des Berechnungsmodells durchgeführt werden sollen. Es sind dabei akustische Belagsgütemessungen nach dem Merkblatt „akustische Belagsgütemessungen“ [22], das ebenfalls ein Anhang des „Leitfadens Straßenlärm“ ist, durchzuführen. Als mögliche Messverfahren werden SPB-, SEM- (Stichproben-Emissions-Messungen) sowie CPX-Messungen genannt. Die Vorgangsweise wird in **Abbildung 1** gezeigt.

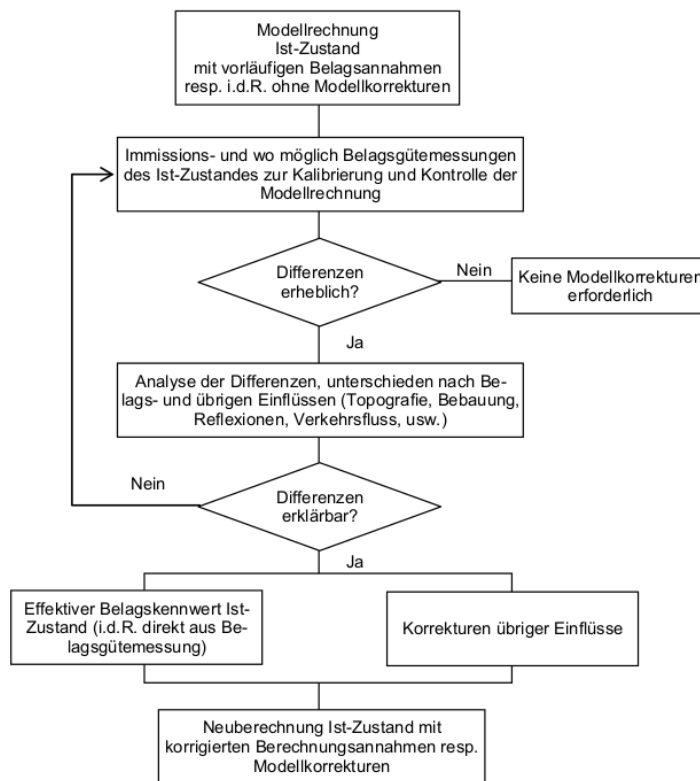


Abbildung 1: Festlegung von Modellkorrekturen bei der Erhebung des Ist-Zustandes (aus Leitfaden Straßenlärm, Anhang 1b)

Die akustische Leistung eines Fahrbahnbelages kann in der Schweiz entweder mittels akustischer Zertifizierung von Unternehmerprodukten oder der Normierung von lärmarmen Rezepturen erfolgen [23]. Die (normierten) Eigenschaften der Deckschichten werden wie bereits erwähnt einerseits in [18], andererseits in [21] angegeben (siehe **Tabelle 4**). Ein Belag gilt dabei als lärmarm, wenn über seine gesamte Nutzungsdauer mindestens 1 Dezibel

weniger Lärm entsteht als bei einem konventionellen Straßenbelag nach StL-86+. Zu Beginn der Nutzungsdauer muss die Lärmreduktion mindestens 3 Dezibel betragen.

Belagstyp	Geschwindigkeitsbereich	
	< 60 km/h 8%	> 90 km/h 15%
Lastwagenanteil		
Drainbeläge PA***	-1	-3
dichte Asphaltbeläge	+1	+2
AC 8	0	
AC 11	+1	+2
AC 16	+2	+2
ACMR 4 *	0	
ACMR 6 *	-1	
ACMR 8 (HR<8%)	+1	0
ACMR 8 (HR>8%)	-1	-1 **
ACMR11	+3	+2
Kaltmikro	0	
MA	+1	+2
OB	+1	
SMA 6	0	
SMA 8	+1	+2
SMA 11	+2	+2
SMA 16		
SPA 4, SPA 6	0	
SPA 8	+1	
SPA 11		
Betonbeläge***		+5

* Nach alter Norm eingebaute Beläge. Für die Erhebung der Belagskennwerte wurden Beläge mit erhöhtem Hohlraumgehalt nicht mitberücksichtigt.

** Die Ermittlung der akustischen Belagskennwerte ist im Anhang 1a erklärt und dokumentiert.

*** Bei Drainbelägen PA wird mit einer Lebensdauer von 10 Jahren, bei Betonbelägen mit 25 Jahren gerechnet.

Tabelle 4: Belagskennwerte für neue Beläge nach [21]

Die aktuelle Entwicklung lärmarmen Beläge in der Schweiz zielt in Richtung sogenannter Semi-Dichter Asphalt (SDA)-Deckschichten. Die SDA-Schichten werden dabei mit Größtkorn 4 und 8 mm hergestellt und können jeweils 3 Bereiche an Hohlraumgehalten (Marshall-Prüfkörper) aufweisen (siehe **Tabelle 5**). Je nach Größtkorn variiert dabei der mögliche Einsatzbereich (außer/innerorts). Die Ergebnisse von CPX-Kontrollmessungen werden dabei bei 50 km/h positiv bewertet, Pegelminderungen im Vergleich mit herkömmlichen Belägen zwischen 4 und 8 dB (SDA 4-12 und SDA 4-16) bzw. 3 und 1 dB (SDA8-12/16) im Neuzustand werden berichtet [24], wobei die lärmindernde Wirkung mit der Zeit abnimmt.

Bezeichnung	Größtkorn [mm]	Kategorie		
		-12	-16	-20
SDA 4	4	10 – 14 Vol.-%	14 – 18 Vol.-%	18 – 22 Vol.-%
SDA 8	8	10 – 14 Vol.-%	14 – 16 Vol.-%	18 – 22 Vol.-%

Tabelle 5: Kategorisierung der Deckschichten aufgrund des Hohlraumgehaltes am Marshall-Prüfkörper

SDA4-Decken mit hohem Hohlraumgehaltsanteil sind vor allem in der Westschweiz verbreitet. Dabei handelt es sich um baufirmeneigene Mischungen, die SDA4-20 ähnlich sind und bautechnisch nicht charakterisiert werden dürfen. Bei diesen Einbauten tragen die Baufirmen oft das Risiko und die zu erreichenden Lärminderungen sind vertraglich zu verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus festgelegt (meistens nach 1 und 5 Jahren) [25].

Eine weitere lärmmindernde Decke ist der sogenannte Rauasphalt (AC MR). Im Besonderen ist der AC MR 8 LN (ehemals AC MR 8, Typ ASTRA) Nachfolger des SMA 8. Grund für dessen Austausch ist das bessere Lärminderungspotential der Rauasphaltdeckschicht AC MR. Die Asphaltdeckschicht AC MR ist zwar als Asphaltbeton deklariert, zeichnet sich aber mit maximalen Anteilen (bis zu 80 %) an grober Gesteinskörnung aus. Dies entspricht in etwa einer Splittmastix-ähnlichen Mischung. Sowohl eine hohe Verformungsbeständigkeit als auch ein geringes Ermüdungsverhalten sind eindeutige Vorteile dieser Asphaltdeckschicht. Entsprechend kommt diese Belagsart vorwiegend bei stark verkehrsbeanspruchten Straßen zum Einsatz.

Die Thematik des (lärmreduzierenden) Gussasphaltes in der Schweiz unterscheidet sich im Wirkungsprinzip nicht von dem in Deutschland zum Einsatz kommenden Gussasphalt. Für dessen Lärminderungspotential sind auch hier das Abstreumaterial und dessen Kornklassen maßgebend. Im Folgenden wird auf eine sich wiederholende vollständige Charakterisierung verzichtet und auf den entsprechenden Abschnitt Deckschichten in Deutschland“ verwiesen.

3.5 Niederlande

Ausgangspunkt für die Umgebungslärberechnung in den Niederlanden sind die Berechnungs- und Messvorschriften für Lärm („Reken- en meetvoorschrift geluid 2012“ [26]). Um die verschiedenen akustischen Eigenschaften von Fahrbahndeckschichten zu berücksichtigen, wird in weiterer Folge auf die CROW-Publikation 316 – „De wegdekcorrectie

voor geluid van wegverkeer 2012“ [27] verwiesen, die auch die Basis der α - und β -Koeffizienten in CNOSSOS-EU bilden. Die Bestimmung der Emissionskennwerte der unterschiedlichen Deckschichttypen basiert dabei auf SPB-Messungen. Wesentlich ist, dass in den Niederlanden eine definierte Messprozedur besteht, die es erlaubt, Kennwerte von Deckschichttypen für die Verwendung in Ausbreitungsberechnungen zu bestimmen. Dies führt dazu, dass es – für die Fahrzeugkategorie der PKW – neben den ursprünglichen 14 angegebenen Standard-Deckschichttypen aus [27] weitere 34 (Hersteller-) spezifische Deckschichten gibt, für die Ausbreitungskennwerte bestimmt wurden (siehe **Tabelle 6**). Die Spalten „50 km/h“ und „80 km/h“ geben hierbei die erwartete Lärminderung bei der jeweiligen Referenzgeschwindigkeit an. Die zulässigen Geschwindigkeitsbereiche dieser Deckschichten deuten jedoch in erster Linie auf einen Einsatz im urbanen Bereich hin.

Aufgrund der Vielzahl an spezifischen Produkten entfällt an dieser Stelle eine genaue Auflistung der einzelnen Produktspezifika. Grundsätzlich sind auf Basis der CROW Report-Deckschichten (0-12 in **Tabelle 6** jedoch drei Gruppen an lärmindernden Deckschichten in den Niederlanden ersichtlich (offenporige Asphalte, SMA und Dünnschichtdecken).

Nr	Wegdektype/-product		50 km/h	80 km/h
0	referentiewegdek	asfalt	0,0	0,0
1	1L ZOAB	asfalt	-0,1	-1,4
2	2L ZOAB	asfalt	-3,9	-4,5
3	2L ZOAB fijn	asfalt	-	-6,5
4a	SMA 0/5	asfalt	-1,7	-1,9
4b	SMA 0/8	asfalt	-0,6	-0,8
5	uitgeborsteld beton	beton	-	1,9
6	geoptim. uitgeborsteld beton	beton	-	0,3
7	fijngbezemd beton	beton	-	2,0
8	oppervlakbewerking	asfalt / beton	2,9	2,9
9a	elementenverharding keperverband	elementen	1,9	-
9b	elementenverharding niet in	elementen	5,5	-
10	stille elementenverharding	elementen	-1,7	-
11	dunne deklagen A	asfalt	-2,9	-3,4
12	dunne deklagen B	asfalt	-4,7	-5,0
13	SilentWay (keperverband)	elementen	-2,9	-
14	Microtop	asfalt	-5,4	-
15	ZSA-SD	asfalt	-5,1	-5,6
16	Konwé Stil	asfalt	-3,5	-3,9
17	Redufalt	asfalt	-	-
18	Dubofalt	asfalt	-4,8	-5,1
19	Micropave	asfalt	-4,4	-
20	Nobelpave	asfalt	-4,8	-5,3
21	Microflex-SMA	asfalt	-2,6	-3,2
22	GRAB	asfalt	-4,6	-
23	Microflex	asfalt	-4,7	-5,4
24	Topfalt	asfalt	-4,5	-5,4
25	Deciville	asfalt	-4,1	-3,9
26	SMA-NL8 G+	asfalt	-2,5	-3,3
27	Durasilent	elementen	-1,0	-
28	MODUS	asfalt	-2,1	-
29	Stil Mastiek 8	asfalt	-3,0	-
30	GeoSilent (keperverband)	elementen	-2,0	-
31	KonwéCity 5	asfalt	-4,2	-
32	SMA GRA 8 COIt®	asfalt	-2,5	-
33	SMArpave	asfalt	-3,3	-
34	PA 8G	asfalt	-	-4,9
35	DGD Strabag	asfalt	-3,3	-
36	RubberPave A	asfalt	-3,4	-
37	SGA	asfalt	-1,5	-
38	Redufalt 2G	asfalt	-3,1	-
39	RubberPave B	asfalt	-5,3	-
40	Devipave	asfalt	-4,8	-
41	SMA-NL 8 GronDuFalt+	asfalt	-2,6	-
42	OPA8	asfalt	-	-
43	Thermoflex	asfalt / beton	-1,6	-
44	KonwéCity 8	asfalt	-	-
45	Deciville ES	asfalt	-5,7	-
46	GUB	beton	0,4	-

Tabelle 6: In der niederländischen Ausbreitungsberechnung berücksichtigbare Deckschichttypen für PKWs

Die stärkste lärmindernde Wirkung im Vergleich mit der Referenzdecke („referentiewegdek“) besteht in der Gruppe der offenporigen Deckschichten („ZOAB“ – „zeer open asfaltbeton“). Die Wirkmechanismen der Lärminderung sind dabei wie bereits bei den in Deutschland eingesetzten offenporigen Deckschichten in der Verminderung von Air Pumping bei gleichzeitiger versuchter Reduktion von Reifenvibrationen zu suchen. Der Geschwindigkeitsbereich, in dem die Kennwerte Gültigkeit besitzen, ist für die ZOAB-Decken von 50 bis 130 km/h angegeben.

Offenporige Deckschichten sind die Standardbauweise auf Autobahnen in den Niederlanden, wobei in letzter Zeit vermehrt zweilagige offenporige Decken eingebaut werden. Dabei werden in der oberen Schicht sowohl Sieblinien 4/8 als auch 2/5 eingesetzt. Die lärmindernde Wirkung wird durch die feine obere Schicht dabei nochmals deutlich erhöht, in der Literatur wurden CPX-Werte von 92,5 dB(A) (für zweischichtigen offenporiger Asphalt in Standardbauweise) und 89,5 dB(A) (für zweischichtigen offenporigen Asphalt mit feiner Deckschicht) gefunden. Akustische Abnahmeprüfungen werden für offenporige Deckschichten in den Niederlanden nicht durchgeführt. Die Qualitätskontrolle basiert auf einer Schichtdicken- und Ausflussmessung, aus der darauf geschlossen wird, ob auch die akustische Funktionsweise der Deckschicht gegeben ist.

Auch im nachrangigen Straßennetz werden lärmindernde Beläge in den Niederlanden eingesetzt, wobei diese mittels CPX/SPB-Messungen in Bezug auf ihre lärmindernde Wirkung abgenommen werden. Bei Nichteinhaltung der Lärminderung kann dies bis zu einer Sanierung der Deckschicht auf Kosten der ausführenden Baufirma führen. Der Durchführungszeitraum für derartige Messungen erstreckt sich typischerweise auf 3 – 26 Wochen nach Verkehrsfreigabe.

3.6 Großbritannien und Nordirland

Die Anforderungen an lärmarme Fahrbahndecken sind in der Tabelle 9/17 des Manual of Contract documents for Highway Works (MCHW) [28] enthalten. Eine Zertifizierung der Fahrbahndecke als Produkt kann durch das Highways Authority Product Approval System (HAPAS) [29] erhalten werden. Im MCHW findet sich der RSI-Wert (Road Surface Influence, Fahrbahndeckeneinfluss) als Korrekturwert in dB(A), wobei eine Standardoberfläche in Großbritannien vom Typ Hot Rolled Asphalt (HRA, heiß eingebauter Walzasphalt) einen Wert von etwa $RSI = -0,5$ dB(A) besitzt und die Skala von $-3,5$ dB(A) bis $+1,2$ dB(A) reicht. Diese Korrekturwerte werden durch SPB-Vorbeifahrtmessungen nach ISO 11819-1 und Vergleich

mit einem Referenzpegel ermittelt. Die häufigsten lärmarmen Fahrbahndecken sind Splitt-Mastix-Asphalte (SMA) mit 10 oder 14 mm Größtkorn. Offenporiger Asphalt wird aufgrund der reduzierten Dauerhaftigkeit und speziellen Anforderungen in der Erhaltung nur selten eingesetzt. Abnahmemessungen auf der Basis von SPB-Vorbeifahrtsmessungen nach ISO 11819-1 werden dann eingesetzt, wenn der entsprechende Bauvertrag dies vorsieht, was vor allem bei Fahrbahndecken mit niedrigen RSI-Werten der Fall ist. Dabei wird das in Appendix A.8 von [30] dargestellte Verfahren verwendet, bei dem etwas von der ISO 11819-1 abweichende Referenzgeschwindigkeiten und Gewichtungsfaktoren verwendet werden. Das Ergebnis wird als Differenz zum entsprechenden Pegel eines neuen HRA mit 20 m Größtkorn ausgedrückt, was den RSI ergibt. Dies ist auch der Referenz-Fahrbahnbelag des Rechenverfahrens Calculation of Road Traffic Noise (CRTN, [1]), wodurch die Korrekturwerte direkt dort weiterverwendet werden. Momentan wird das CPX-Verfahren nach ISO 11819-2 in Großbritannien nicht verwendet, da alle Messungen auf dem SPB-Verfahren nach ISO 11819-1 basieren.

3.7 Frankreich

In Frankreich werden lärmarme Fahrbahndecken üblicherweise also solche definiert, die bei der Messung nach ISO 11819-1 (SPB-Verfahren) für PKW bei 90 km/h einen Pegel unter 76 dB(A) aufweisen. Typische Arten von lärmarmen Fahrbahndecken sind Dünnschichtdecken (BBTM) mit erhöhtem Hohlraumgehalt (20 bis 25% für BBTM mit 6 mm Größtkorn und 18 bis 25% für BBTM mit 10 mm Größtkorn), geringem Größtkorn von 4, 6, 8 oder 10 mm sowie typischen Einbaudicken von 2-2,5 cm (siehe [32]). Hierbei werden Decken mit Größtkorn 8 oder 10 mm auf dem hochrangigen Straßennetz bevorzugt verwendet und die Decken mit kleinerem Größtkorn im niederrangigen und urbanen Bereich. Offenporige Fahrbahndecken mit einem Hohlraumgehalt von 20-30% und Größtkorn von 6 oder 10 mm werden seltener verwendet, wobei zumeist die Sicherheit durch verbesserte Entwässerung ein wichtigerer Aspekt ist als die Lärmreduktion. Ob Abnahmemessungen gefordert werden, hängt vom jeweiligen Straßenbetreiber ab, wobei SPB-Messungen, CPX-Messungen oder auch Schallimmissionsmessungen an der Gebäudefassade eingesetzt werden. Die Leitlinie des IDDRIM [33] stellt den Stand der Technik dar und gibt Empfehlungen ab, ist aber nicht verbindlich. Er empfiehlt den vorzugsweise den Einsatz von CPX-basierten Grenzwerten. Im nationalen Rechenverfahren NMPB 2008 werden 3 Kategorien von Fahrbahndecken verwendet (siehe [33], Seite 27): lärmarme mit SPB-Pegeln unter 76 dB(A), mittlere mit SPB-Pegeln zwischen 76 und 79 dB(A) und laute mit SPB-Pegeln über 79 dB(A), wobei alle Pegel

sich auf PKWs bei 90 km/h beziehen. Für die Anwendung im Rahmen der Lärmkartierung nach der Umgebungslärmrichtlinie wurden an diese Kategorisierung angepasste Emissionsparameter errechnet. Es besteht keine direkte Verbindung zwischen den Emissionsparametern und etwaigen Abnahmegrenzwerten.

3.8 Belgien - Flandern

In Flandern werden als lärmarme Fahrbahndecken Splitt-Mastix-Asphalte und Waschbetone mit jeweils mit 6,3 mm Größtkorn, NGCS (New Generation Concrete Surfaces, Betondecken mit Längsrillenstruktur) und zwei Typen bituminöser Deckschichten namens AGT (Asfalt voor Geluidsarme Toplagen) Typ I und II eingesetzt. Für diese Fahrbahndecken sind Grenzwerte auf der Basis von CPX-Messungen nach ISO 11819-2 mit dem P1-Reifen bei 80 km/h zwischen 93 und 99 dB(A) festgelegt, bei deren Überschreitung im Zuge von Abnahmeprüfungen Qualitätsabzüge zum Tragen kommen (siehe [34]). Diese Werte werden auch für Korrekturen der Emissionsparameter verwendet.

3.9 Spanien

In Spanien ist die Einhaltung von Lärmvorschriften von hoher Bedeutung. Dennoch gibt es keine spezifischen Festlegungen für die akustischen Eigenschaften lärmarmen Fahrbahndecken. Wenn lärmindernde Eigenschaften erzielt werden sollen, werden zumeist Splitt-Mastix-Decken und offener Asphalt verwendet, die nach den in Spanien gültigen bautechnischen Regeln hergestellt werden. Es werden keine Abnahmemessungen nach der Deckenherstellung durchgeführt. Im Rahmen von Forschungsprojekten werden zumeist CPX-Messungen verwendet. Als Immissionsberechnungsverfahren wird das CNOSSOS-EU Verfahren der EU-Richtlinie 2015/996 [9] verwendet. Für die Einordnung der Fahrbahndeckentypen werden die Referenz-Fahrbahndeckentypen des Appendix 10 des CNOSSOS-EU-Verfahrens [35] verwendet.

3.10 Italien

In Italien kommen mehrere Typen von akustisch optimierten Fahrbahndecken zum Einsatz, die in Forschungsprojekten entstanden sind oder dort als lärmarm identifiziert wurden, unter anderem zum Beispiel Splitt-Mastix-Asphalte, offene oder gummi-modifizierte Asphalte (siehe [36]). Abnahmen lärmarmen Fahrbahndecken werden nur fallweise durchgeführt, wobei

entweder CPX- oder SPB-Messungen verwendet werden. Generelle Grenzwerte oder Verbindungen zur Immissionsberechnungen konnten nicht eruiert werden.

3.11 Dänemark

In Dänemark werden im hochrangigen Straßennetz vor allem drei Arten an Asphaltdeckschichten eingesetzt: SMA 11, der leisere SMA 8 STD (mit einer angenommenen Lärmreduktion von 1,8 dB) sowie der lärmreduzierende SRS (mit einer angenommenen Lärmreduktion von 2,4 dB, jeweils gemittelt über die Lebensdauer der Deckschicht) [37]. In Hinblick auf hohlraumreichere SMA-Deckschichten wurde die erwartete Lärmreduktion in Dänemark nicht erzielt.

Der Fokus im Deckschichtbau verlagert sich in Dänemark daher aktuell in Richtung von Fahrbahndecken mit geringem Rollwiderstand („klimavenlig asfalt“, klimafreundlicher Asphalt), wobei eine lärmreduzierende Wirkung aufgrund der erhöhten Stabilität der Deckschicht erhofft wird. Allerdings ist eine Validierung über die Lebensdauer derartiger Fahrbahndeckschichten noch nicht erfolgt, die Wirkung wurde jedoch in Laborversuchen untersucht.

Die Überprüfung der Wirkung von lärmindernden Deckschichten erfolgt in Dänemark mittels CPX-Messungen bei 80 km/h mit dem ASTM SRTT Reifen. Typische Messzeitpunkte sind – in Abhängigkeit der Verkehrslast – zwischen 6 und 8 Wochen nach Verkehrsfreigabe, wobei jedoch keine feste Fristsetzung besteht. Aufgrund eines empirischen Modells wird bei späterer Messung eine Rückrechnung auf den Ursprungszustand der Deckschicht durchgeführt. Die CPX-Werte werden auch zur Einordnung der Fahrbahndeckentypen in die Kategorien des Berechnungsmodells Nord2000 verwendet.

3.12 Schweden

In Schweden wurden im hochrangigen Straßennetz als lärmarme Fahrbahndecken an einigen wenigen Stellen zweilagige offenporige Asphalte mit 11 mm Größtkorn in der oberen Schicht und 16 mm Größtkorn in der unteren Schicht sowie 25% Hohlraumgehalt eingesetzt. Im urbanen Bereich wird bei Lärmproblemen statt SMA mit 16 mm Größtkorn (SMA 16) solche mit 11 mm Größtkorn eingesetzt. Lärmarme Fahrbahndecken werden einmal pro Jahr mit einem CPX-Rollgeräuschanhänger gemessen und die akustische Entwicklung beobachtet. Emissionsparameter für Schallimmissionsberechnungen existieren für SMA 11 und SMA 16, Asphaltbeton mit 11 und 16 mm Größtkorn, zweilagigen offenporigen Asphalt und Oberflächenbehandlungen mit 11 mm Größtkorn.

3.13 Tschechische Republik

In der Tschechischen Republik werden Splitt-Mastix-Decken (SMA 5, SMA 8) und Dünnschichtdecken (BBTM 5, BBTM 8) mit eher kleinem Größtkorn zur Lärminderung eingesetzt. Es existiert eine nationale Technische Spezifikation des tschechischen Verkehrsministeriums (TP 259), die Richtwerte im Sinne von CPX-Messwerten für verschiedene Fahrbahndecken angibt und es ermöglicht, lärmarme Fahrbahndecken als solche zu identifizieren. Diese Richtwerte stammen aus umfangreichen CPX-Messkampagnen, haben aber noch nicht den Charakter von Grenzwerten. Für Lärmimmissionsberechnungen werden die Werte einer Standard-Asphaltdecke verwendet. Es ist geplant, differenzierte Emissionsparameter im Rahmen der Umsetzung der EU-Richtlinie [9] zu erstellen.

3.14 Zusammenfassender Vergleich

Obwohl der Detailgrad und Umfang der aus den einzelnen Ländern ermittelbaren Informationen sehr unterschiedlich, können doch einige relevante Gemeinsamkeiten festgestellt werden. Die **Tabelle 7** zeigt eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse zu den gestellten Forschungsfragen. Dabei zeigt sich, dass international lärmarme Fahrbahndecken vor allem zu den Typen Splitt-Mastix-Asphalt, offener Asphalt und Dünnschichtdecke gehören. Nur wenige Länder setzen lärmarme Betondecken ein. Als wesentliche Fahrbahnoberflächenparameter über den Deckentyp hinaus sind auch ein kleines Größtkorn und große Hohlraumgehalte oft bestimmende Eigenschaften lärmarmen Fahrbahndecken. Generell vorgeschriebene Abnahmemessungen mit Grenzwerten sind nur in wenigen Ländern zu finden, wobei als Verfahren meist CPX eingesetzt wird. Zur Ermittlung der Emissionswerte für Lärmimmissionsberechnungen werden oft SPB-Messungen, aber auch CPX-Messungen oder Kombinationen beider Verfahren eingesetzt. Eine zumindest teilweise Koppelung zwischen Abnahmegrenzwerten und Emissionsparametern war in etwa der Hälfte aller Fälle gegeben, wobei eine direkte rechnerische Verbindung nur in 2 Fällen gegeben war.

Land	Typische lärmarme Fahrbahndecken	Akustische Abnahmeverfahren	Emissionswerte für die Lärmberechnung	Abnahme und Lärmberechnung gekoppelt?
Österreich	SMA S3, PA P1/P2, Lärmarmer Waschbeton, Dünnschichtdecken (BBTM)	Abnahme nach RVS 11.06.64, Grenzwerte nach RVS 08.16.01 und 08.17.02	Emissionswerte in RVS 04.02.11	Nein
Deutschland	SMA 5/8/11, SMA LA 8, OPA 8/11, DSH-V, WB, AC D LOA, Lärmarmer Gussasphalt	Keine generell vorgeschriebenen Abnahmen, CPX und SPB werden eingesetzt	TP-KoSD-19 (SPB+CPX) zur Bestimmung der Korrekturwerte in RLS-19 für PKW und LKW	Nein
Schweiz	SDA 4, SDA8 (Semi-dichter Asphalt, Hohlraumgehalt 10% bis 22%), Rauasphalt (AC MR), Lärmarmer Gussasphalt	Leitfaden Straßenlärm, Empfehlung für Belagsgütemessungen zur Modellkalibrierung (z.B. SPB, CPX)	via möglicher Modellkalibrierung in STL-86+ oder SonRoad	Teilweise
Niederlande	3 Gruppen: OPA (ZOAB ein- und zweilagig), SMA, Dünnschichtdecken, 14 Standardtypen und weitere ca. 34 Herstellerspezifikationen	Im hochrangigen Netz nur bautechnische Abnahme, akustische Abnahmen SPB/CPX im niederrangigen Netz	SPB-Messungen zur Ermittlung produktspezifischer Korrekturwerte	Teilweise
Großbritannien / Nordirland	SMA 10, SMA 14	Modifiziertes SPB-Verfahren zur Ermittlung der RSI	Direkter Einsatz der RSI im Rechenverfahren	Ja
Frankreich	Dünnschichtdecken (BBTM), OPA	Nur als Empfehlung, CPX oder SPB	3 grobe Kategorien von Fahrbahndecken	Teilweise
Belgien - Flandern	SMA 6,3, WB 6,3, NGCS, AGT	CPX-Verfahren mit Grenzwerten	CPX-basierte Korrekturwerte	Ja
Spanien	SMA, OPA	keine	Referenzdecken nach Richtlinie 2015/996	Nein
Italien	SMA, OPA	Fallweise CPX oder SPB	Referenzdecken nach Richtlinie 2015/996	Nein
Dänemark	SMA 11, SMA 8 STD, SRS	CPX-Messungen	3 Kategorien im Nord2000 Modell	Ja
Schweden	Zweilagiger OPA, SMA11	Nur Monitoring	Existieren für alle verwendeten Fahrbahndecken	Nein
Tschechische Republik	SMA 5, SMA 8, Dünnschichtdecken (BBTM 5, BBTM 8)	Nur Monitoring, Richtwerte	Standard-Asphaltdecke	Nein

Tabelle 7: Ländervergleich zum Thema lärmarme Fahrbahndecken und Abnahmeverfahren

4 BAUTECHNISCHE ANFORDERUNGEN AN LÄRMMINDERNDE FAHRBAHNDECKEN

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Überblick über die verschiedenen Anregungsmechanismen des Reifen/Fahrbahngeräusches gegeben werden (siehe [10], [11]). Diese sollen des Weiteren in Bezug zu bautechnischen Anforderungen verschiedener (österreichischer) Deckschichten gesetzt werden. Dadurch soll ein Einblick in den Einfluss der Fahrbahndecke, insbesondere der Oberflächentextur und des Hohlraumgehaltes, auf die Entstehung bzw. die Minderung von Abrollgeräuschen gegeben werden.

Physikalische Wirkmechanismen zur Rollgeräuschenentstehung

Beim Abrollen eines Reifens auf einer Fahrbahndecke kommt es zu verschiedenen Wechselwirkungen zwischen den beiden beteiligten Festkörpern. Dabei unterscheiden sich die beiden Körper in ihren Eigenschaften. Während die Fahrbahnoberfläche (mit der Ausnahme der poroelastischen Fahrbahndecken, die in Österreich keine bautechnische Relevanz haben) als nicht elastisch deformierbar angenommen werden kann, muss der Reifen als dynamischer, deformierbarer elastischer Körper beschrieben werden. Dies führt dazu, dass durch die statischen geometrischen Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche Vibrationen im Reifen angeregt werden, wobei verschiedene Teile des Reifens (z.B. Torus, Reifenprofil) unterschiedliche Schwingungsformen bedingen. Diese Vibrationen führen zu einer Schallabstrahlung der Reifenoberfläche.

Neben den Vibrationsanteilen des Rollgeräusches existiert beim Abrollen des Reifens eine weitere Ursache der Schallemission. Durch die vom Reifen verdrängte Luft kommt es zu aeroakustischen Effekten, die ebenfalls einen relevanten Anteil an der Rollgeräuschemission aufweisen. Daneben kommt es zu Schwingungen der Luft im Reifenprofil, die ebenfalls eine Verstärkung der Schallemissionen zur Folge haben.

Vibrationsanteile

Ein Reifen muss als elastischer schwingender Körper betrachtet werden. Je nach Frequenz der Anregung kommt es in verschiedenen Bereichen zu Schwingungen, die zu Schallemissionen führen. Dabei ist zu beachten, dass sich die im Folgenden angeführten Frequenzen für verschiedene Reifendimensionen – vor allem in Hinblick auf PKW- und LKW-Reifen – verschieben können.

Unter 30 Hz verhält sich ein Reifen wie ein Feder-Masse-System. Je nach radialer Steifigkeit des Reifens wirken sich Hindernisse, die diesen Frequenzbereich anregen, in erster Linie auf den Fahrkomfort innerhalb des Fahrzeuges aus.

Zwischen 30 und 250 Hz liegen die Eigenschwingungsmoden des Reifens. Diese setzen sich aus den radialen und transversalen Moden zusammen. Sie können als Gesamtschwingung des Reifens gesehen werden, die neben den Festkörpereigenschaften (Steifigkeit) von der Reifengeometrie, d.h. den Reifendimensionen, und der Reifenmasse abhängen.

Über 250 Hz kommt es vor und hinter dem Reifen/Fahrbahnkontakt zu weiteren Vibrationen, die sich allerdings nicht über den gesamten Reifen ausbreiten. Die Oberflächenschnelle am Reifen nimmt dabei mit zunehmender Entfernung vom Reifen/Fahrbahnkontakt deutlich ab. Die Abklingrate hängt dabei von den viskoelastischen Eigenschaften des Reifens ab. Hier gibt es zwei Hauptursachen für diese Schwingungsanregungen. Einerseits kommt es durch die Fahrbahntextur zu einer Vibrationsanregung, die je nach Oberflächengeometrie (z.B. bedingt durch das Größtkorn bzw. die Sieblinie, die konkave bzw. konvexe Ausgestaltung der Oberfläche, etc.) zu einer unterschiedlich starken Anregung des Rollgeräusches führt. Die Hauptenergie dieser Schwingungsformen liegt dabei meist unter 800 Hz. Andererseits kommt es auch durch die Reifenoberflächengeometrie – d.h. durch die Profilstruktur des Reifens – beim Abrollen und Auftreffen der Profilblöcke zu Vibrationsanregungen. Diese sind ebenfalls von der Geometrie und Geschwindigkeit abhängig und liegen für PKW-Reifen im Bereich von 1000 Hz (bzw. 750 Hz für LKW-Reifen). Das Reifenprofil wird dabei meist dergestalt angepasst, dass es zu keinen tonalen oder modulierenden Schwingungsanregungen kommt.

Im Frequenzbereich von 800 bis 4000 Hz kommt es zu einer weiteren vibrationsbedingten Schallemission. Durch den Kontakt der Profilblöcke auf der Fahrbahnoberfläche kommt es zu weiteren kurzweiligen Vibrationsanregungen. Die Profilblöcke kommen dabei in Kontakt mit der Fahrbahnoberfläche und haften an. Während des Abrollvorganges entstehen jedoch Kräfte zwischen Gummi und Fahrbahndecke, die sich schließlich plötzlich entspannen und somit zu Vibrationen führen ("stick/slip"-Anregung).

Aeroakustische Anteile

Basierend auf Vibrationsanregungen, aber im Bereich der Aeroakustik, treten Schwingungen der Luft im Reifeninneren auf. Diese Reifeninnenmoden liegen dabei bei PKW-Reifen im Bereich von 200-250 Hz (erste Mode) aufwärts und sind abhängig von den Reifendimensionen. Die Schwingungen der Luft wechselwirken wieder mit dem Reifen selbst und führen zu Reifenvibrationen und damit zu Schallabstrahlung.

Hauptpunkt der aeroakustischen Anteile des Rollgeräusches ist das sogenannte “Air pumping”. Dies bezeichnet die vor dem Reifen in das Profil gedrängte und dabei komprimierte Luftvolumen, das am Ausgang des Reifen/Fahrbahnkontaktes wieder plötzlich expandiert und damit zu Schallemissionen führt. Air Pumping ist dabei ein hochfrequenter Effekt ab ca. 1000 Hz.

Verstärkende Effekte

Die Mechanismen des Reifen/Fahrbahnkontaktes werden durch zwei Mechanismen weiter verstärkt: Einerseits kommt es im Reifenprofil zu Resonanzen, die abhängig von der Reifengeometrie im Bereich von 1000 Hz zu tragen kommen. Ebenfalls kommt es aufgrund der Geometrie zwischen Reifen und Fahrbahndecke zu einer Verstärkung, die als Horn-Effekt bekannt ist. Diese beginnt ca. bei 250 Hz zu wirken, steigt bis 1000 Hz an und erreicht bei ca. 2000 Hz einen Sättigungsbereich. Dieser Effekt kann durch die Absorptionseigenschaften von Fahrbahndeckschichten deutlich verringert werden,

Messung, Überlagerung und Dominanz der Wirkmechanismen

In der Untersuchung lärmindernder Fahrbahndeckschichten wird versucht, den Einfluss des Reifens auszublenden, d.h. die auf den Reifen bezogenen Entstehungsmechanismen hintanzustellen. Dies erfolgt durch die Annahme eines “mittleren” Reifens, der die Vielzahl der in Österreich genutzten Reifen repräsentiert. In der messtechnischen Erfassung des Einflusses von Deckschichten auf das Reifen/Fahrbahngeräusch erfolgt dies einerseits durch die Messung von Vorbeifahrten eines statistischen Fahrzeugkollektivs (ISO 11819-1, SPB-Methode) bzw. durch die Auswahl eines repräsentativen Reifens in ISO 11819-2 (CPX-Methode). Dort wird der in ASTM F2493 [12] spezifizierte Standard Reference Test Tyre (SRTT) genutzt, um einen durchschnittlichen PKW-Reifen zu repräsentieren (P1-Reifen). Ebenfalls in der CPX-Methode wird für die Untersuchung des Deckschichteinflusses auf LKW-Reifen aktuell der H1-Reifen (Typ Avon AV4) genutzt, allerdings wird dieser kommerzielle Reifen nicht mehr produziert. Wann eine Überarbeitung der Norm in Hinblick auf einen Ersatz des H1-Reifens erfolgt, kann zum aktuellen Zeitpunkt nicht abgeschätzt werden.

In der Forschung zu den Wirkmechanismen des Reifen/Fahrbahngeräusches ist ein vermehrter Einsatz der CPX-Methode zu beobachten. Dies ergibt sich einerseits aus der einfacheren Messung, die ebenfalls Informationen zu einem größeren Streckenabschnitt erhebt. Andererseits wird durch die Nahfeldmessung im Gegensatz zu SPB-Messungen der Einfluss der Schallausbreitung zum Immissionspunkt hin aus der Transferfunktion ausgeschlossen sowie störende Schallquellen (z.B. durch den Antriebsstrang,

Strömungsgeräusche, etc.) ausgeblendet. Ebenfalls können so gekoppelte Messungen der Fahrbahntextur mit den CPX-Messergebnissen gemeinsam betrachtet werden.

Unter diesen Gesichtspunkten kann nun davon ausgegangen werden, dass Unterschiede in den Messergebnissen von CPX-Messungen in erster Linie auf die fahrbahndeckschichtbezogenen Parameter im Reifen/Fahrbahngeräusch zurückzuführen sind. Hierdurch lässt sich die Bewertung der Wirkmechanismen bzw. die Zusammenhänge zwischen Textur und Schallemissionen auf die Fahrbahnseite einschränken.

Um nun die Schallemissionen bei typischen Deckschichten einzelnen Generationsmechanismen zuzuordnen, müssen weiterführende Analysen erfolgen. Aufgrund der überlappenden Frequenzbereiche, in denen die einzelnen Mechanismen zu tragen kommen, kann nicht direkt durch eine Frequenzanalyse auf die Ursprünge der Schallemissionen geschlossen werden. Ebenfalls konkurrieren einzelne Wirkmechanismen des Reifen/Fahrbahngeräusches miteinander. Gerade im Frequenzbereich um 1000 Hz, welcher das Reifen/Fahrbahngeräusch dominiert, sind mehrere Mechanismen aktiv: Die Anregung der Profilblöcke durch das Auftreffen auf die Oberfläche, Stick/Slip-Mechanismen sowie Air Pumping, gekoppelt mit dem verstärkenden Horneffekt konkurrieren als dominanter Effekt. Eine allgemeine Beschreibung dieses Umstandes wird in folgender Formel versucht:

$$(1) \quad L_{CPX,i} = g_{mode,i} \oplus g_{tex,i} \oplus g_{tread,i} \oplus g_{stick/slip,i} \oplus g_{torus,i} \oplus g_{air,i} \oplus \dots \oplus a_{g,i}$$

Dabei bezeichnet $L_{CPX,i}$ den CPX-Pegel im i -ten Terzband, $g_{mechanism,i}$ die einzelnen Generationsmechanismen und $a_{g,i}$ die Verstärkung der einzelnen Wirkmechanismen, und \oplus die energetische Summe der einzelnen Emissionspegelanteile. Dies verdeutlicht, dass durch eine Variation der Deckschicht einzelne Mechanismen abgeschwächt, andere gleichzeitig jedoch verstärkt werden. Deutlich in ihrer Textur verschiedene Deckschichten können somit ähnliche Schallemissionen aufweisen, wobei die zugrundeliegenden Generationsmechanismen sich stark unterscheiden. Eine tiefgreifende Analyse der physikalischen Zusammenhänge sowie gesicherte Aussagen zu möglichen Optimierungen sind dadurch nicht durch einfache Terzbandanalysen, sondern nur durch weiterführende Betrachtungen aller beteiligten Oberflächeneigenschaften (in erster Linie der Textur sowie des Hohlraumgehaltes der Deckschicht) möglich.

Analyse österreichischer Deckschichttypen

Die hauptsächlich in Österreich eingesetzten Deckschichttypen lassen sich aus akustischer Sicht in wenige Kategorien einteilen:

- 1) dichte isotrope Fahrbahndeckschichten (Asphaltbeton, dichte Splittmastixasphalte (SMA S1), Waschbetondecken)
- 2) dichte anisotrope Fahrbahndeckschichten (Betondecken in Grinding-Bauweise)
- 3) semi-dichte Fahrbahndeckschichten (SMA S3, SMA S4)

Im Bereich der dichten isotropen Deckschichten kommen alle oben besprochenen Wirkmechanismen zur Geltung. Sowohl Vibrationen als auch Air Pumping wird angeregt, zusätzlich kommt es zu verstärkenden Effekten durch Horneffekte und Resonanzen. Gerade die Vibrationen werden aber durch die Oberflächengeometrie der Deckschichten deutlich unterschiedlich angeregt, die Stärke und Frequenz der auftretenden Kräfte im Reifen/Fahrbahnkontakt variiert bei verschiedenen Oberflächengestaltungen. Möglichkeiten der Gestaltung sind dabei im Größtkorn und der Sieblinie gegeben. Ebenfalls kann versucht werden, durch verschiedene Einbaumethoden konkave Strukturen ("Plateau mit Schluchten") zu erzeugen bzw. möglichst ebene Abrollflächen bei einer weiter vorhandenen Struktur an offenen Kanälen in der Textur zu erzeugen.

Einen ähnlichen Hintergrund haben Deckschichten in Betonbauweise mit Grinding-Textur. Dabei werden longitudinale Rillen in die Betondecke gefräst, um ein möglichst gleichmäßiges Abrollen des Reifens ohne Auftreten von dynamischen Kräften zu ermöglichen. Interessanterweise wirkt sich diese Geometrie nicht nur auf die Vibrationsanteile des Reifen/Fahrbahngeräusches aus. Erste Analysen der terzbandaufgelösten Emissionen zeigen auch hochfrequent über 1000 Hz eine merkliche Abnahme des Rollgeräusches, was auf die Minderung von stick/slip-Effekten sowie reduziertes Air Pumping durch verminderte Kompressionen/Expansionen im Reifen/Fahrbahnkontakt schließen lässt.

Mit semi-dichten Deckschichten aus Splittmastixasphalt wird schließlich versucht, einerseits eine ebene Abrollfläche für den Reifen, andererseits Hohlräume für reduziertes Air Pumping zu erzeugen. Ebenfalls soll durch das beginnende Absorptionsvermögen der Deckschicht der Horneffekt als verstärkender Mechanismus abgeschwächt werden. Bestimmender Parameter dabei ist der Hohlraumgehalt der Deckschicht, der ab ca. 10 Prozent eine akustische Wirksamkeit bedeutet (siehe [25]). Offenporige Deckschichten mit einem Hohlraumgehalt zwischen 16 und 24 Prozent haben aufgrund der funktionalen Abstriche außerhalb des Bereichs der Lärminderung (insbesondere in Hinblick auf die Lebensdauer) in Österreich keine Relevanz.

5 DATENBASIS FÜR AUSWERTUNGEN

Die im Zuge dieses Projektes analysierten Abschnitte des hochrangigen Straßennetzes Österreichs bilden gemeinsam mit den Daten aus den Vorprojekten ADURA, INGGO, LSMA8, A2-Grinding, A2G-SPB und LZV-2018 die Basis sämtlicher vorhandenen Analysen. Im Folgenden soll ein Überblick über diese Datensätze gegeben werden.

Um die akustischen Eigenschaften der vorhanden Deckschichttypen möglichst ganzheitlich abbilden zu können, wurden vom Auftraggeber vorab repräsentative Abschnitte auf Autobahnen und Schnellstraßen übermittelt. Diese Teilstrecken sollten sowohl ob ihrer geographischen Verteilung als auch hinsichtlich ihres Alters eine Basis für die Langstreckenmessung nach der RVS 11.06.64 und ISO 11819-1 darstellen. Deren genaue Zusammensetzung ist in Tabelle 8 angegeben.

In Abbildung 2 sind sowohl die genannten Teilabschnitte (orange) als auch sämtliche tatsächlich teils mehrmals mittels CPX-Anhänger (blau) und RVS-Anhänger (grün) befahrene Strecken gekennzeichnet. Entlang dieser wurde das Rollgeräusch der RVS- bzw. CPX-Methode entsprechend zumeist gleichzeitig erhoben, sodass die Messfahrzeuge und -Anhänger hintereinanderfuhren. Bei sämtlichen gekennzeichneten Abschnitten fanden die Messungen in beide Fahrrichtungen im ersten Fahrstreifen statt. Der Messreifen des RVS-Anhängers wurde stets in der rechten Fahrspur geführt. Luft-, Fahrbahn- und Reifentemperaturen wurden ebenso kontinuierlich und für jede Methode getrennt erfasst wie GPS-Koordinaten mittels differentielltem GPS und Geschwindigkeiten mittels eines optisch-korrelativen Sensors. Rollgeräuschpegel, welche während Überholmanövern oder in Baustellenbereichen, wo keine konstante Messgeschwindigkeiten von 80 km/h oder 100km/h erreicht werden konnten, erfasst wurden, wurden nachträglich ausgeschieden und fanden keinen Einfluss in anschließende Regressionen.

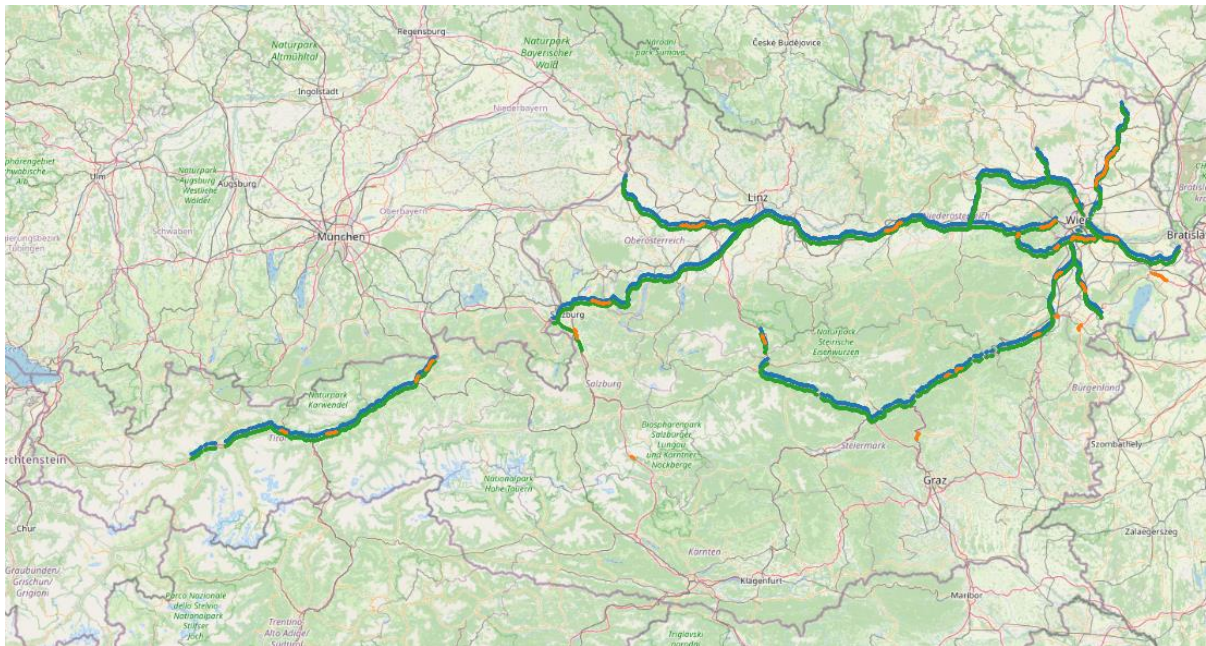


Abbildung 2: Lage der übermittelten Teilabschnitte (orange) sowie tatsächlich befahrene Strecken (CPX: blau, RVS: grün) im hochrangigen Straßennetz bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80km/h

Belagstyp	RVS		CPX	
	Länge [km]	Anteil [%]	Länge [km]	Anteil [%]
Waschbeton	639,8	34,4	585,3	31,7
SMA S1	466,9	25,1	477,3	25,8
SMA S2	82,6	4,4	76,4	4,1
SMA S3	335,4	18,0	334,9	18,1
AC_Deck_A2	40,5	2,2	42,7	2,3
AC_Deck_A3	24,5	1,3	25,1	1,4
Sonstige	271,2	14,6	305,7	16,6
Gesamt	1860,9	100,0	1847,4	100,0

Tabelle 8: Übersicht der Anteile befahrener Belagstypen

Um deckschichtabhängige Korrelationen zu ermöglichen, wurde vom Auftraggeber ein Datenbankauszug übermittelt, welcher Koordinaten, Fahrtrichtung, Baukilometer in 100 m -

Abschnitten, Deckschichttyp sowie Einbaujahr aller Autobahnen beinhaltet. Die letztgenannte Größe ist in Abbildung 3 in Form eines Boxplots für jene Deckschichten dargestellt, die mehr als 1% zur Gesamtstrecke beitragen. Mit der CPX-Methode (orange) bzw. RVS-Methode (grün) befahrene und vorhandene Belagstypen (blau) sind ebenso angegeben wie die Besetzungsdichten der jeweiligen Einbaujahre (schwarz). Die Boxplots weisen für SMA-S1, SMA-S2 und SMA-S3 jeweils eine gute Überlappung auf. Bei Waschbetondecken sind erhöhte Unterschiede bei den Spannweiten der 2. Quantile erkennbar, da wenige entsprechende Abschnitte aus dem Jahr ~1990 und älter gemessen wurden. Abschnitte mittleren Alters sind jedoch gut abgedeckt, die Differenz der beiden Mediane beträgt nur ein Jahr. Die verbliebenen Typen divergieren zwar teils erheblich, ihr jeweiliger Anteil in Vergleich zum gesamten Straßennetz ist jedoch sehr gering, siehe Tabelle 8.

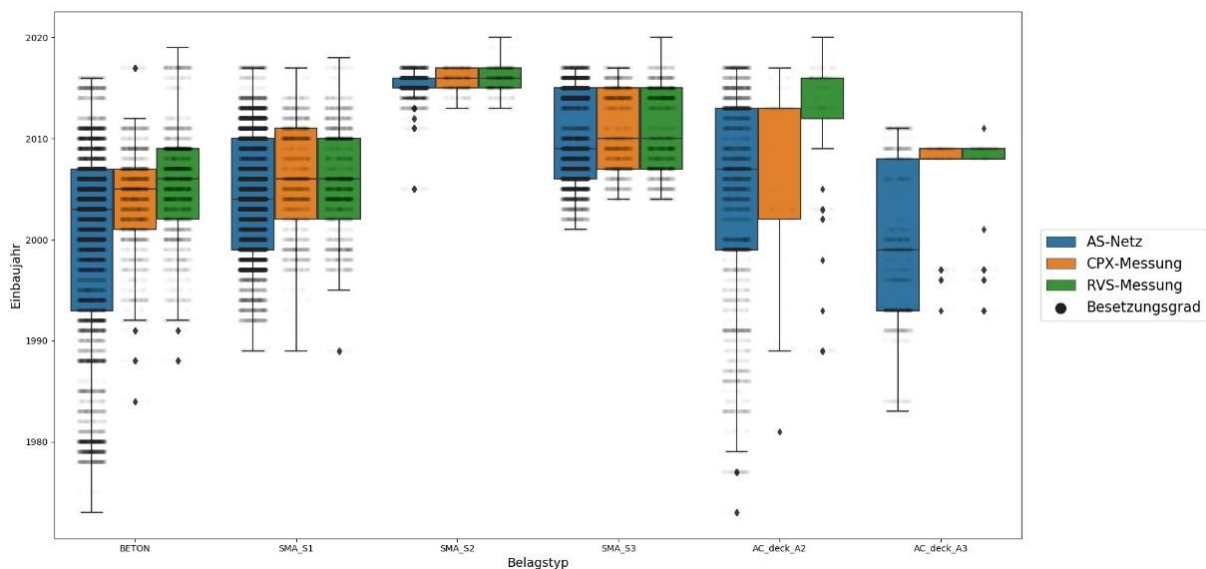


Abbildung 3: Altersverteilung vorhandener Deckschichttypen des gesamten Straßennetzes (AS-Netz) und der mittels CPX-Methode (orange) und RVS-Methode (grün) befahrenen Abschnitte.

Diese Datenbasis erlaubt nun eine deckschichtabhängige Betrachtung der erhobenen Rollgeräuschpegel der beiden Messmethoden RVS und CPX. Die Breite der Violinenplots der CPX-Methode (orange) und der RVS-Methode (grün) skaliert mit der Datendichte im jeweiligen Pegelbereich. Erkennbar ist, dass Letztere bei allen Deckschichten eine breitere, weniger dicht besetzte, Verteilung aufweist. Dies könnte auf die deutlichen Profilunterschiede der verwendeten Messreifen aber auch auf die variierenden normativen Mikrofonpositionen zurückgeführt werden.

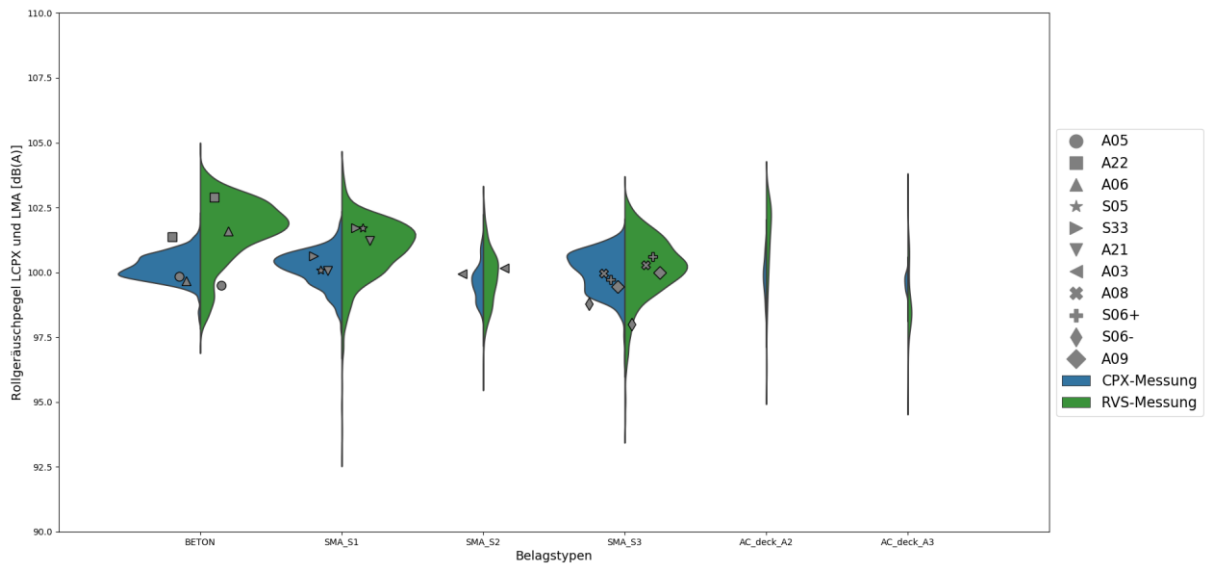


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Rollgeräuschpegel der mittels CPX-Methode (blau) und RVS-Methode (grün) befahrenen Abschnitte.

Die grauen Markierungen geben die bei den Langstreckenmessungen erhobenen Pegel an jenen Stellen an, bei welchen sowohl nochmalige Überfahrten als auch entsprechende Immissionswerte mittels SPB-Messungen stattfanden. Diese bildeten gemeinsam mit bereits in der Vergangenheit durchgeführten Messungen die Datenbasis für die später beschriebenen Korrelationen. Bei dieser Abschnittsauswahl wurde einerseits Wert auf eine geeignete Abbildung der belagstypischen Rollgeräuschpegel gelegt, andererseits sollten die Messpunkte sowohl messtechnisch gemäß ISO 11819-1 als auch unter Sicherheitsaspekten geeignet sein. Eine geographische Übersicht der im Zuge dieses Projekts analysierten Messstellen ist in Abbildung 5 gegeben. Diese enthält auch eine Position im niederrangigen Straßennetz Niederösterreichs. Detaillierte Informationen zu allen berücksichtigten Messungen sind in Tabelle 10 in Abschnitt 6 gegeben.

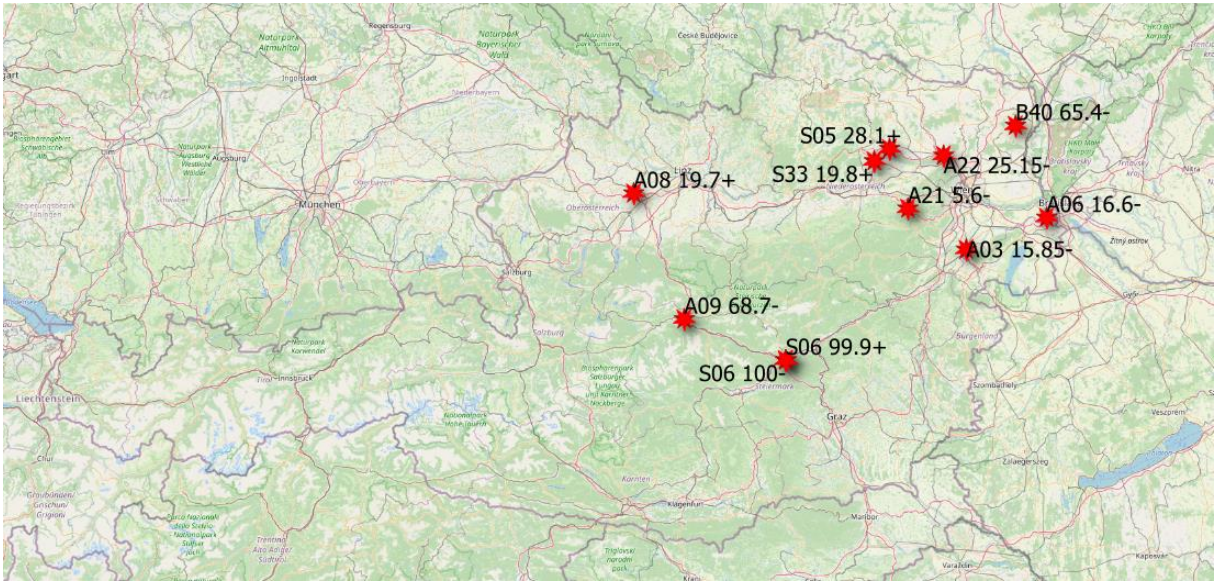


Abbildung 5: Geographische Übersicht der im Projekt ROSALIA mittels CPX und SPB-Methode analysierten Messstellen

6 KORRELATION RVS-CPX

Die mit den beiden Rollgeräusch-Messverfahren RVS und CPX ermittelten Werte LMA und LCPX unterscheiden sich in der Dichteverteilung, wobei sowohl bei 80 km/h (siehe **Abbildung 6**) wie auch bei 100 km/h (siehe **Abbildung 7**) die CPX-Pegel einen kleineren Streubereich aufweisen als die nach RVS gemessenen Pegel. Dies ist auf das Messprinzip zurückzuführen, da beim RVS-Verfahren ein Reifen verwendet wird, der nur vier Längsrillen aufweist und ansonsten glatt ist, während beim CPX-Verfahren Reifen verwendet werden, die eine Profilgestaltung aufweisen, die einem handelsüblichen Reifen entspricht. Dadurch fallen beim RVS-Verfahren die Unterschiede in der Fahrbahnoberfläche stärker ins Gewicht, was zu einer stärkeren Spreizung der auftretenden Messwerte führt. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Interaktion des P1-Reifens des CPX-Verfahrens weitaus eher dem in der Praxis auftretenden Rollgeräusch von PKW-Reifen entspricht. Dies ist einer der Gründe, die für einen Übergang vom RVS- zum CPX-Verfahren sprechen, da ansonsten die durch lärmarme Fahrbahndecken erzielbaren Lärmreduktionen überschätzt werden.

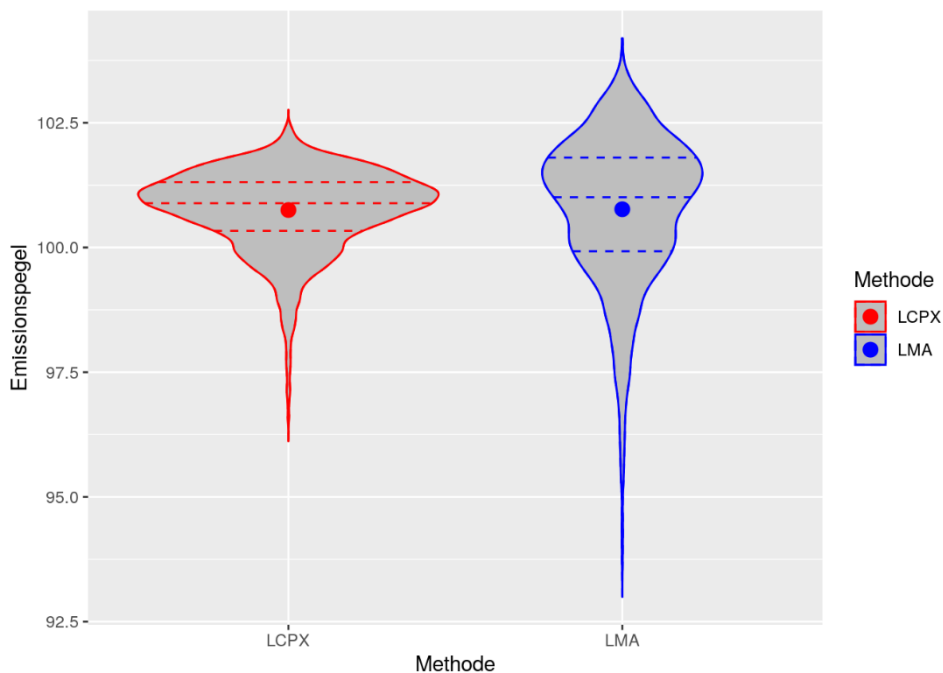


Abbildung 6: Dichteverteilung der RVS - und CPX – Pegel bei 80 km/h für alle Fahrbahndecken

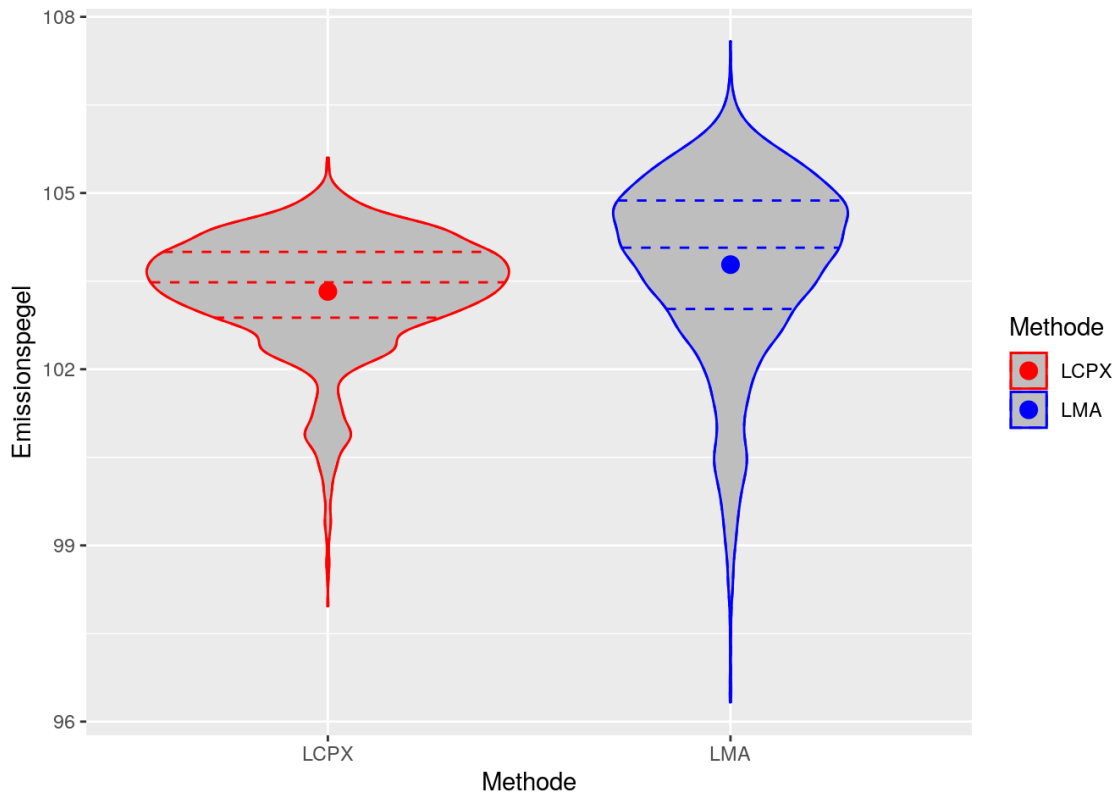


Abbildung 7: Dichteverteilung der RVS - und CPX – Pegel bei 100 km/h für alle Fahrbahndecken

Um eine Korrelation zwischen den Nahfeld-Rollgeräuschpegeln der CPX- und RVS-Messungen herzustellen, wurden die erhobenen Pegel der Langstreckenmessungen (siehe Abbildung 2) beider Methoden jeweils 10 m-Abschnitten des A+S-Netzes zugeordnet und über 100 m gemittelt. Daraus ergab sich eine Datenbank mit über 25.000 Datensätzen. Jeder dieser Abschnitte entspricht somit einem Datenpunkt, der in das als linear angenommene Verhältnis zwischen LMA und LCPX, siehe Gleichung (2), aufgenommen und mittels LOWESS-Fits¹ korreliert werden kann.

$$(2) \quad LCPX = a \cdot LMA + b$$

Dies wurde in **Abbildung 8** und **Abbildung 9** für den Gesamtdatensatz und für die drei relevantesten Deckschichttypen bei konstanten Fahrgeschwindigkeiten von 80 km/h und 100 km/h durchgeführt.

¹ Quelle: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1979.10481038>

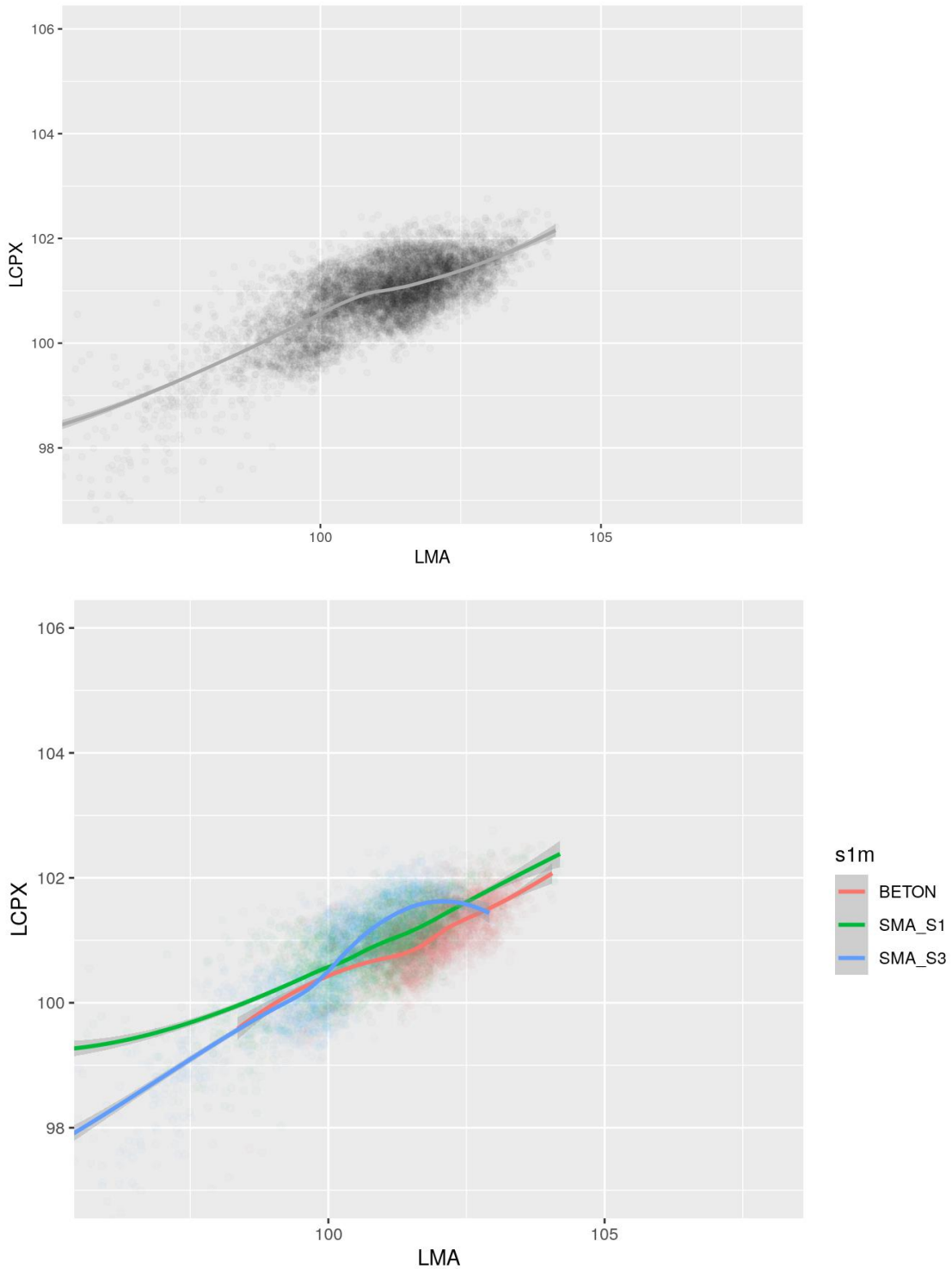


Abbildung 8: Korrelation der RVS-CPX – Pegel mittels LOWESS-Regression bei 80 km/h für alle Fahrbahndecken (oben) sowie für Beton, SMA-S1 und SMA-S3 getrennt (unten). Jeder Datenpunkt entspricht einem über 100m – Abschnitt gemittelten Pegel auf dem jeweiligen Belag.

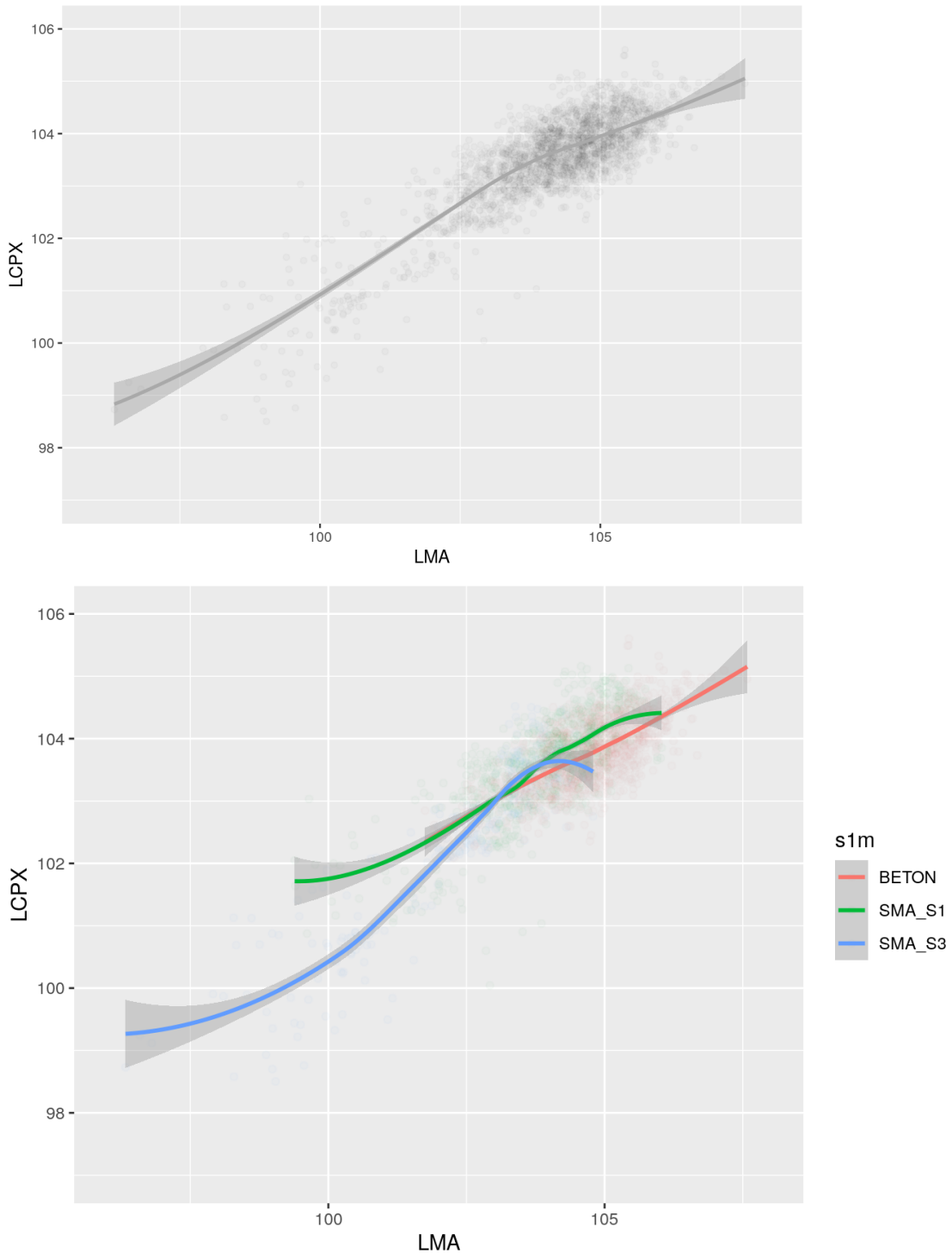


Abbildung 9: Korrelation der RVS-CPX – Pegel mittels LOWESS-Regression bei 100 km/h für alle Fahrbahndecken (oben) sowie für Beton, SMA-S1 und SMA-S3 getrennt (unten). Jeder Datenpunkt entspricht einem über 100m – Abschnitt gemittelten Pegel auf dem jeweiligen Belag.

Die höhere Streuung der beim RVS-Verfahren erhobenen Pegel ist erneut an der ermittelten Steigung erkennbar. Zwischen LMA-Werten von 98 und 100 dB(A) weisen die dargestellten

Beton- und Asphaltdeckschichten ähnliche Verläufe aus, bei höheren Pegeln sind Abstände von jeweils bis zu 0,4 dB(A) erkennbar.

Damit lässt sich schließen, dass separate Korrelationen für die relevanten Fahrbahndecken im praktisch anzutreffenden Wertebereich aufgrund der auftretenden Unsicherheiten nicht zielführend sind. Daher wurden in den folgenden Analysen nur jeweils ein Satz von linearen Regressionsparametern für alle Fahrbahndecken verwendet. Die Regressionsparameter für die CPX-LMA Korrelation nach Gleichung (2) sind in **Tabelle 9** angegeben. Bei der praktischen Verwendung dieser Regression sind die Ergebnisse auf 1 Nachkommastelle zu runden.

Fahrgeschwindigkeit in km/h	a in dB/dB	b in dB	Regressionsgleichung	RSE in dB	r ²
80	0,405	59,938	$LCPX = 0,405 \cdot LMA + 59,938$	0,5	0,58
100	0,540	47,280	$LCPX = 0,540 \cdot LMA + 47,280$	0,5	0,72

Tabelle 9: Übersicht der Regressionsparameter für die CPX-RVS-Regression

Eine frequenz aufgelöste Analyse der Bestimmtheitsmaße für die Terzbänder, die das RVS- und das CPX-Verfahren gemeinsam haben, ist in **Abbildung 10** dargestellt. Diese zeigt, dass für fast alle Fahrbahndecken zwei Frequenzbereiche existieren, für die eine gute Korrelation auch zwischen verschiedenen Terzbandpegeln beider Verfahren im jeweils selben Frequenzbereich erkennbar ist. Der Übergang zwischen den beiden Bereichen liegt etwa bei 1000 – 1250 Hz, wo man auch das Maximum eines typischen Rollgeräuschspektrums findet. Das deutet darauf hin, dass die Korrelation zumindest abseits des Maximums nicht sehr stark von den spezifischen gewählten Terzbändern abhängt, solange diese aus dem richtigen Frequenzbereich (tieffrequent oder hochfrequent) stammen.

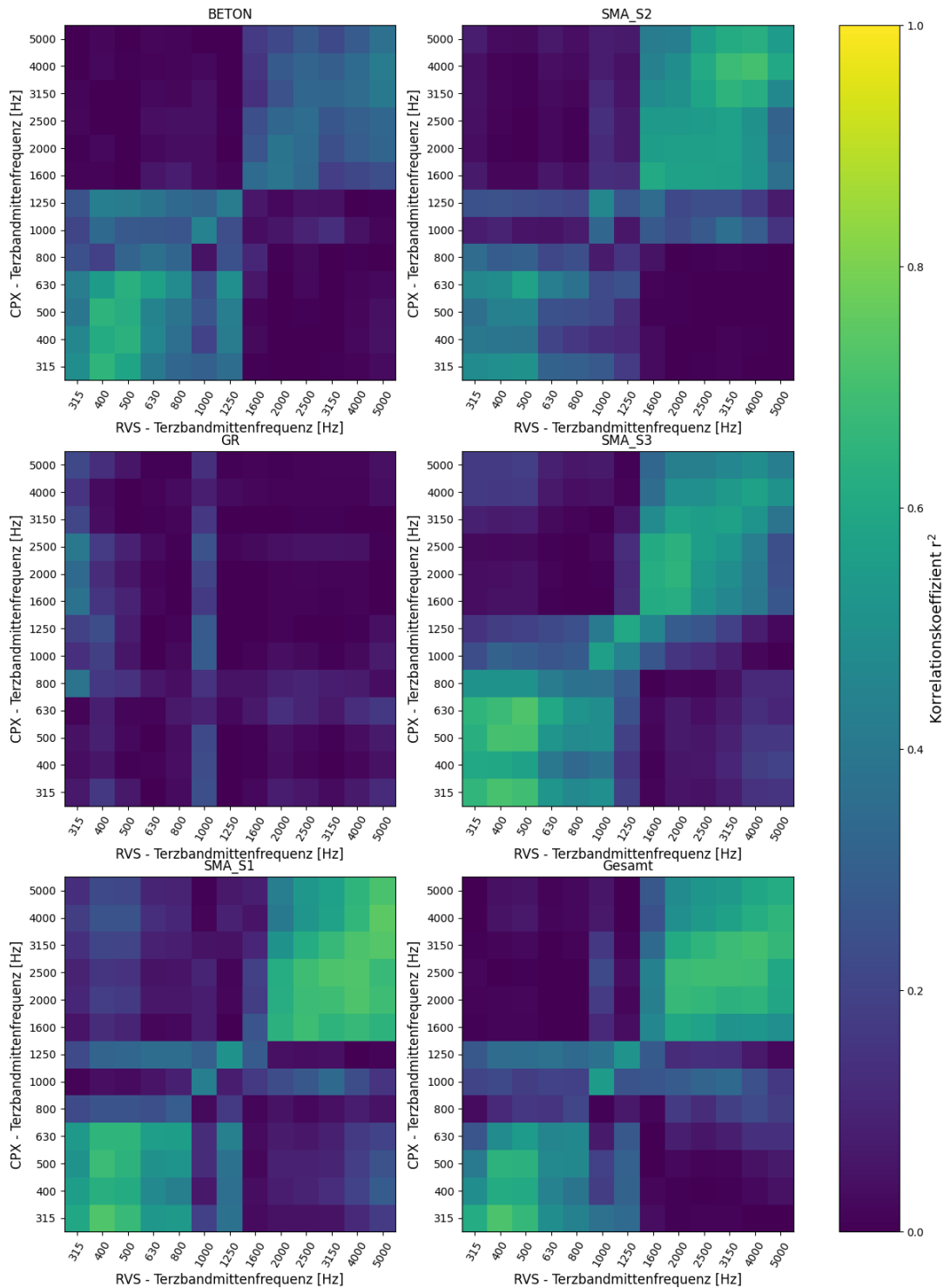


Abbildung 10: Frequenz aufgelöste Korrelation der RVS- und CPX – Pegel bei 80 km/h für einzelne Terzbänder

7 KORRELATION CPX-SPB UND SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR SCHALLEMISSIONSPARAMETER

In Tabelle 10 sind sämtliche Messstellen aufgelistet, an welchen CPX- und SPB-Messungen durchgeführt wurden, welche für die weiteren Analysen berücksichtigt wurden. Die Anhängerüberfahrten fanden im hochrangigen Straßennetz stets mit 80 km/h, teilweise auch mit 100 km/h statt, an der B40 zusätzlich mit 50 km/h. Pegelmittelungen wurden gemäß RVS ISO 11819-2 über eine Strecke von 250 m vor und nach der SPB-Messstelle im Zentrum durchgeführt. Hierbei wird für die Kennzeichnung der Fahrtrichtung bzw. Richtungsfahrbahn das Kurzzeichen + für Fahrt in Richtung aufsteigender Kilometrierung sowie – für die Fahrt in Richtung absteigender Kilometrierung verwendet. Die Bezeichnung einer Messstelle mit A02 km 7,00- entspricht also beispielsweise der A02 beim Kilometer 7,00 auf der Richtungsfahrbahn nach Wien.

Straße	Baukilometer	Richtung	Belagstyp	Einbaujahr	CPX		SPB	
					Messung	Projekt	Messung	Projekt
A02	7,00	-	Waschbeton	2002	2018-04-25	A2Grinding	2018-06-19	A2Grinding
A02	7,00	-	Grinding	2018	2018-11-06	A2Grinding	2018-11-07	A2Grinding
A02	7,00	-	Grinding	2018	2019-07-09 2021-08-13	A2Grinding ROSALIA	2019-08-06 2021-06-01	A2Grinding A2G-SPB
A02	9,30	+	Waschbeton	2002	2018-04-25	A2Grinding	2018-06-19	A2Grinding
A02	9,30	+	Grinding	2018	2018-11-06 2019-07-09	A2Grinding	2018-11-07 2019-08-06	A2Grinding
A02	348,20	-	Grinding	2017	2018-07-09	INGGO	2018-07-24	INGGO
A02	350,70	-	Waschbeton	2001	2018-07-09	INGGO	2018-07-24	INGGO
A05	25,20	-	Grinding	2017	2018-06-18 2018-10-30	INGGO INGGO	2018-06-12 2018-10-12	INGGO
A05	25,20	+	Waschbeton	2017	2018-06-18	INGGO	2018-06-12	INGGO
A10	104,80	-	Grinding	2017	2018-11-15	INGGO	2018-08-01	INGGO
A10	105,20	-	Waschbeton	2008	2018-11-15	INGGO	2018-08-01	INGGO
A10	157,20	-	Waschbeton	1988	2018-07-09	INGGO	2018-07-23	INGGO
A10	157,50	+	Grinding	2017	2018-07-09	INGGO	2018-07-23	INGGO
A12	12,04	+	LSMA8	2011	2021-06-15	ROSALIA	2020-06-23	LSMA8
A12	14,01	-	LSMA8	2011	2021-06-16	ROSALIA	2020-06-23	LSMA8
A12	18,30	+	LSMA8	2010	2021-06-15	ROSALIA	2020-06-23	LSMA8
A12	28,24	-	LSMA8	2013	2021-06-16	ROSALIA	2020-06-23	LSMA8
A12	65,51	-	LSMA8	2014	2021-06-15	ROSALIA	2020-06-24	LSMA8
S06	72,00	+	SMA-S3	2006	2018-06-15	ADURA	2018-10-02	LZV-2018
S06	96,70	-	SMA-S3	2016	2018-06-15	ADURA	2018-10-04	LZV-2018
S06	99,90	+	SMA-S3	2011	2018-06-15 2021-10-19	ADURA ROSALIA	2018-10-04 2021-11-10	LZV-2018 ROSALIA
S06	100,00	-	SMA-S3	2017	2018-06-15 2021-10-19	ADURA ROSALIA	2018-10-04 2021-11-15	LZV-2018 ROSALIA
A03	15,85	-	SMA-S2	2013	2021-10-11	ROSALIA	2021-10-20	ROSALIA

A05	26,00	+	Waschbeton	2017	2021-09-30	ROSALIA	2021-09-28	ROSALIA
A06	16,60	-	Waschbeton	2007	2021-10-11	ROSALIA	2021-10-05	ROSALIA
A08	19,70	+	SMA-S3	2009	2021-10-18	ROSALIA	2021-11-15	ROSALIA
A09	68,50	-	SMA-S3	2010	2021-10-19	ROSALIA	2021-10-11	ROSALIA
A21	5,60	-	SMA-S1	2010	2021-10-18	ROSALIA	2021-10-14	ROSALIA
A22	25,15	-	Waschbeton	2006	2021-10-13	ROSALIA	2021-11-08	ROSALIA
S05	28,10	+	SMA-S1	2006	2021-10-15	ROSALIA	2021-10-18	ROSALIA
S33	19,80	+	SMA-S1	2006	2021-10-15	ROSALIA	2021-10-18	ROSALIA
B40	65,40	-	AC_deck_A3	2009	2022-04-13	ROSALIA	2022-04-20	ROSALIA

Tabelle 10: Übersicht aller Messstellen, an welchen CPX- und SPB-Messungen durchgeführt wurden

Die einzelnen Datensätze und Detailergebnisse, die als Basis für die CPX-SPB-Korrelationen herangezogen wurden, finden sich als Anhang in Abschnitt 11. Bei den SPB-Messungen wurden mit Ausnahme der B40 km 65,4- und der A05 km 26,0+ stets mehr als 120 Einzelvorbeifahrten von PKWs (Kategorie 1) und 80 Einzelvorbeifahrten von schweren LKWs (Kategorie 3) statistisch erfasst. Dies beinhaltete den Pegelverlauf des Messmikrofons, mittels Radar festgehaltene Fahrgeschwindigkeit sowie regelmäßig aufgezeichnete Luft- und Fahrbahntemperaturen. Einzelne, kontrollierte Vorbeifahrten eines eigenen PKWs, welcher einen kontinuierlich aufzeichnenden GPS-Sensor mitführte, ermöglichten Geschwindigkeitskorrekturen des gesamten Fahrzeugkollektivs. An jeder der Messstellen wurde für jede Vorbeifahrt der Schallereignispegel L_{AE} berechnet, um den akustischen Energieinhalt der Vorbeifahrt im Hinblick auf die Berechnung von Emissionsparametern zu erfassen, was bei alleiniger Verwendung des Maximalpegels nicht möglich ist. Dieser wurde gegen die zugehörige logarithmierte Geschwindigkeit aufgetragen, und eine lineare Regression gemäß Gleichung (3) gebildet. Exemplarisch ist dies für die A09 bei Baukilometer 68,50- in **Abbildung 11** dargestellt.

$$(3) \quad L_{AE}(v) = k \cdot \log_{10} \frac{v}{v_0} + d$$

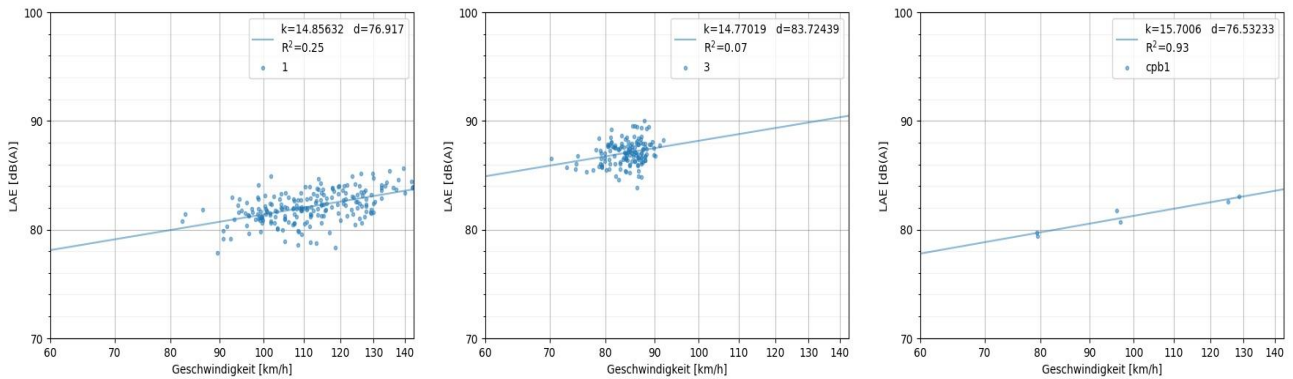


Abbildung 11: Exemplarische SPB-Messergebnisse. Ergebnisse für die drei Fahrzeuggruppen PKW (links), schwere LKW (Mitte) und kontrollierte Vorbeifahrten (rechts). Die Schallereignispegel L_{AE} der PKW (links), schweren LKW (mittig) und kontrollierte Vorbeifahrten (rechts) sind gegen die logarithmierten Geschwindigkeiten aufgetragen und lineare Regressionen gebildet

Diese Regression erlaubt die Umrechnung hin zu dem geschwindigkeitsabhängigen, energieäquivalenten Dauerschallpegel einer einzelnen Vorbeifahrt pro Stunde in einem Meter Abstand $L_{AEq}^{1Kfz/h}$, siehe Gleichung (4).

$$\begin{aligned}
 L_{AEq}^{1Kfz/h} &= L_{AE}(v) + 10 \cdot \log_{10} \frac{[(7,5 - 0,75)^2 + 1,2^2]^{0,5}}{3600} \\
 (4) \quad &= k \cdot \log_{10} \left(\frac{v}{v_0} \right) + d + 10 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{[(7,5 - 0,75)^2 + 1,2^2]^{0,5}}{3600} \right\} \\
 &= K_{v,Kat,F} \cdot \log_{10} \left(\frac{v}{v_0} \right) + L_{Kat,F}
 \end{aligned}$$

Evaluierung dieses $L_{AEq}^{1Kfz/h}$ für jede der drei Fahrzeugkategorien und Auftragung gegen die mittels CPX-Methode erhobenen L_{CPX} -Pegel ermöglicht die Korrelation durch eine lineare Regression der Gesamtpegel. Die linearen SPB-CPX-Regressionen sind durch folgende Formel gegeben:

$$(5) \quad L_{AEq}^{1Kfz/h} = a \cdot L_{CPX} + b$$

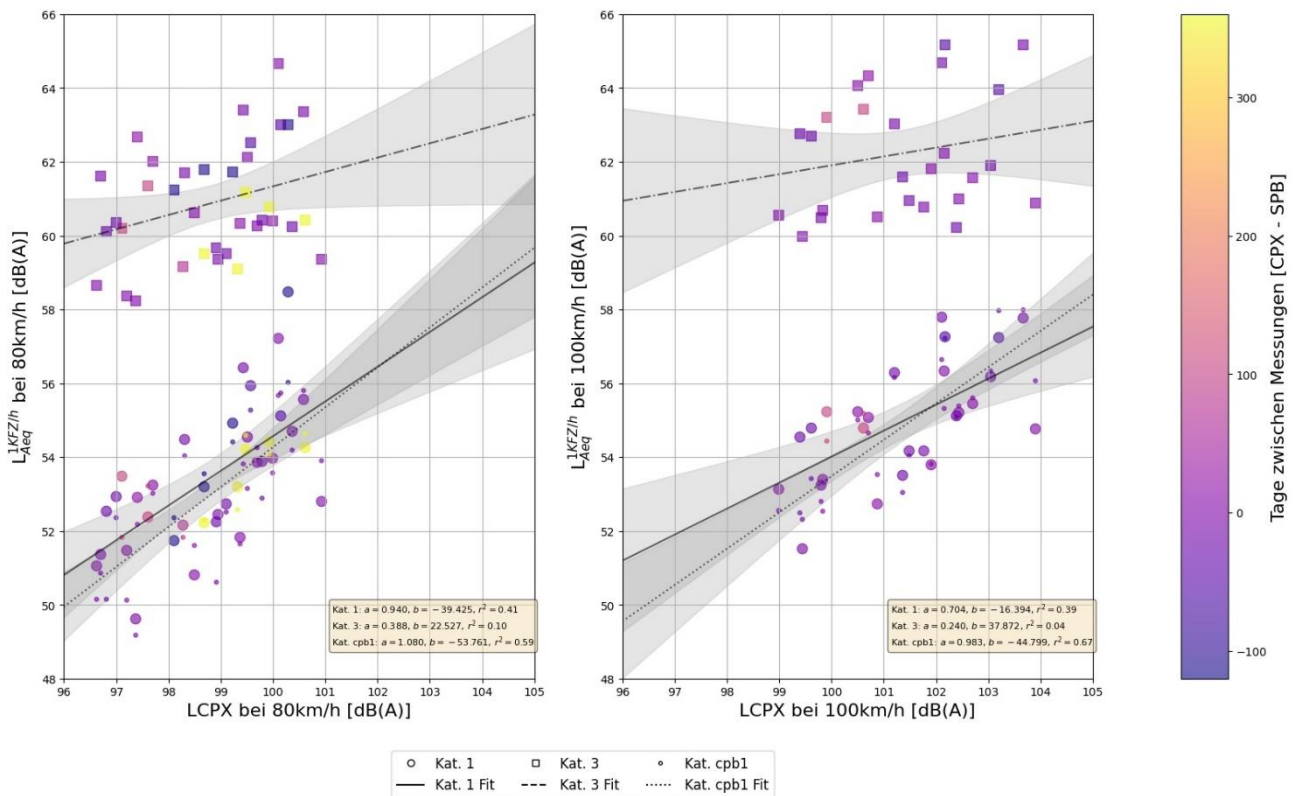


Abbildung 12: Lineare Regressionen der energieäquivalenten Dauerschallpegel für PKW (Kategorie 1, Kreise), LKW (Kategorie 3, Quadrate) und kontrollierte Vorbeifahrten (Kategorie CPB1, Punkte) in Abhängigkeit vom L_{CPX} -Pegel

Die entsprechenden Datenpunkte und Ergebnisse sind in **Abbildung 12** für 80 km/h (links) und 100 km/h (rechts) dargestellt. Die Farbskalierung der Datenpunkt soll eine gegebenenfalls erhöhte Zeitdifferenz zwischen CPX- und SPB-Messungen verdeutlichen. Anzumerken ist hierbei, dass nur fünf Wertepaare aus Messungen resultieren, zwischen welchen jeweils eine Winterperiode gegeben war. Regressionen hin zu PKWs und kontrollierten Einzelvorbeifahrten (Kategorie CPB1) zeigen einen im relevanten Pegelbereich ähnlichen Verlauf. Korrelationen zwischen den CPX-Pegeln und Einzahlwerten von LKW-Vorbeifahrtmessungen weisen nur eine sehr geringe Signifikanz auf. Dies kann einerseits auf den verwendeten Messreifen P1 nach ISO/TS 11819-3 [3], welcher grundsätzlich Rollgeräuschpegel von PKWs abbilden soll, zurückgeführt werden. Andererseits ergeben SPB-Messungen von LKWs bereits weniger signifikante Korrelationen von Geschwindigkeit und Schallereignispegeln als jene von PKWs, was zusätzlich zu einer höheren Streuung beiträgt.

Die sich ergebenden Regressionsparameter für die SPB-CPX Korrelation nach Gleichung (2) sind in **Tabelle 11** und **Tabelle 12** angegeben. Bei Verwendung dieser Regressionen sind die Ergebnisse auf eine Nachkommastelle zu runden.

Fahrgeschwindigkeit (km/h)	a (dB/dB)	b (dB)	Regressionsgleichung	RSE (dB)	r ²
80	0,940	-39,425	$L_{AEq}^{1Kfz/h} = 0,940 \cdot LCPX - 39,425$	1,4	0,41
100	0,704	-16,394	$L_{AEq}^{1Kfz/h} = 0,704 \cdot LCPX - 16,394$	1,5	0,39

Tabelle 11: Übersicht der Regressionsparameter für die SPB-CPX-Regression für PKW

Fahrgeschwindigkeit (km/h)	a (dB/dB)	b (dB)	Regressionsgleichung	RSE (dB)	r ²
80	0,388	22,527	$L_{AEq}^{1Kfz/h} = 0,388 \cdot LCPX + 22,527$	1,3	0,10
100	0,240	37,872	$L_{AEq}^{1Kfz/h} = 0,240 \cdot LCPX + 37,872$	1,6	0,04

Tabelle 12: Übersicht der Regressionsparameter für die SPB-CPX-Regression für LKW

Es ergibt sich, dass für PKW eine Korrelation grundsätzlich gegeben ist, während die weitaus geringeren Bestimmtheitsmaße für LKW anzeigen, dass diese Korrelationen nicht verwendbar sind, um Emissionsparameter für LKW abzuleiten. Dieses Ergebnis ist nicht ganz unerwartet, da der verwendete P1 Reifen im CPX-Verfahren das Rollgeräusch von LKW-typischen Reifen nicht repräsentiert, sondern nur jenes von PKW-Reifen.

Um ein differenzierteres Bild der SPB-CPX-Korrelationen zu erhalten können obige Korrelationen auch auf Terzbandpegel erweitert und die resultierenden Korrelationskoeffizienten bzw. Bestimmtheitsmaße, Standardabweichungen der Residuen und Steigungen ermittelt werden. Diese sind in für alle Fahrzeugkategorien und Geschwindigkeiten in Abbildung 13 bis Abbildung 15 dargestellt. So ergeben sich tieffrequent zwar für LKWs niedrige RSEs (siehe Abbildung 14 unten) allerdings bei ebenfalls kleinen Bestimmtheitsmaßen r² (siehe Abbildung 13 unten) wiederum herrührend von sehr geringen Steigungen (siehe Abbildung 15 unten).

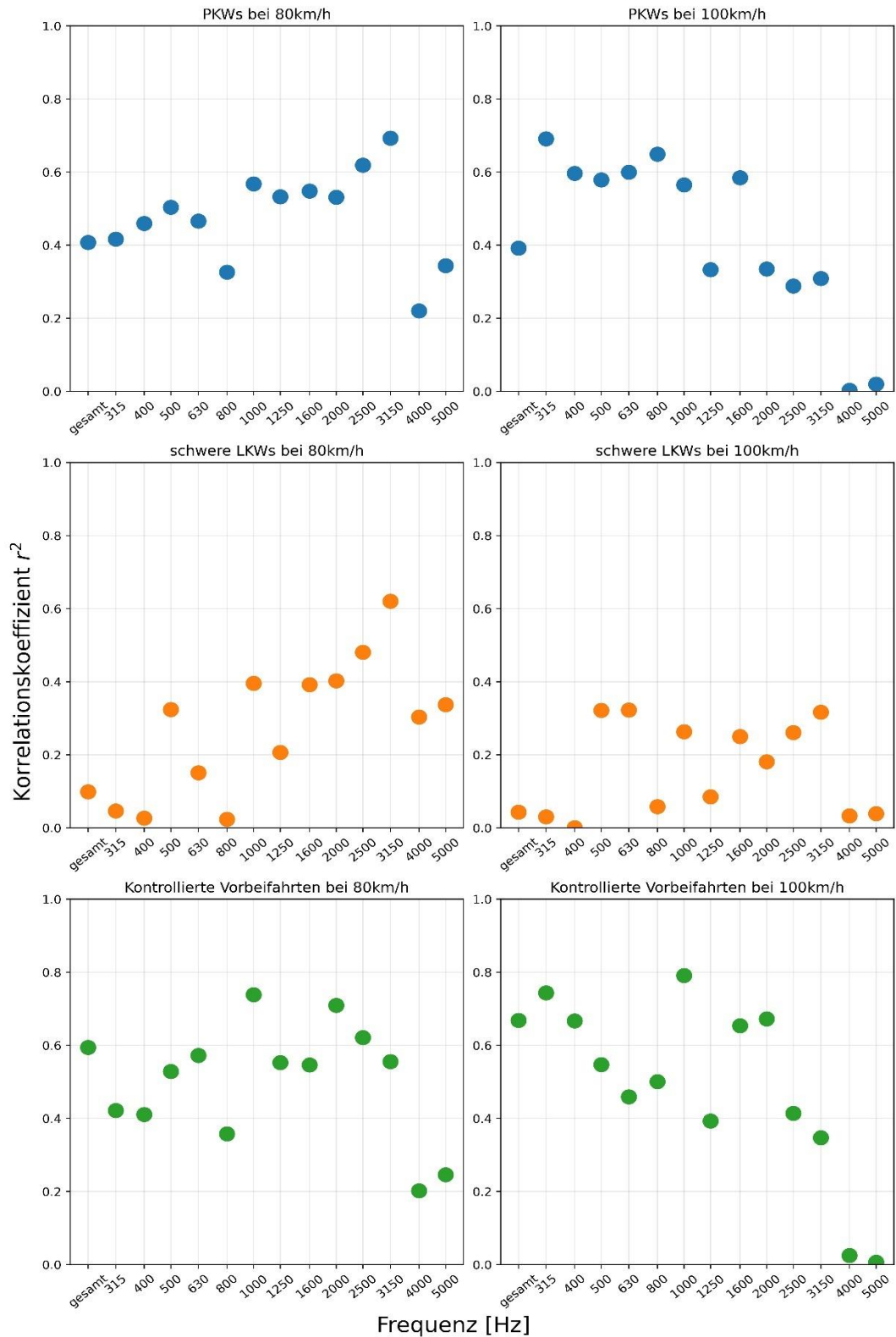


Abbildung 13: Bestimmtheitsmaß für PKWs (oben, blau), LKWs (mittig, orange) und kontrollierte Vorbeifahrten (unten, grün).

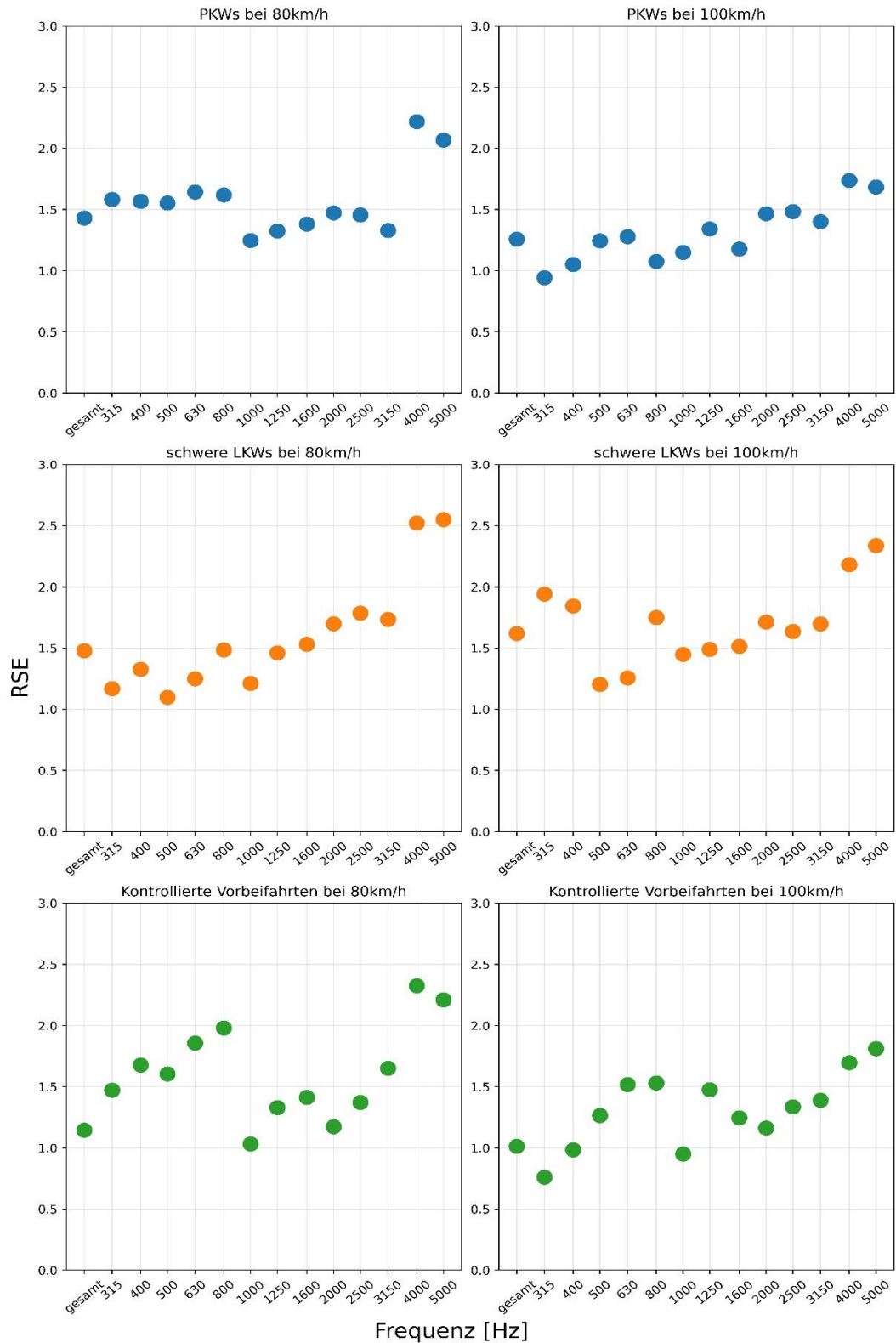


Abbildung 14: Standardabweichungen der Residuen für PKWs (oben, blau), LKWs (mittig, orange) und kontrollierte Vorbeifahrten (unten, grün).

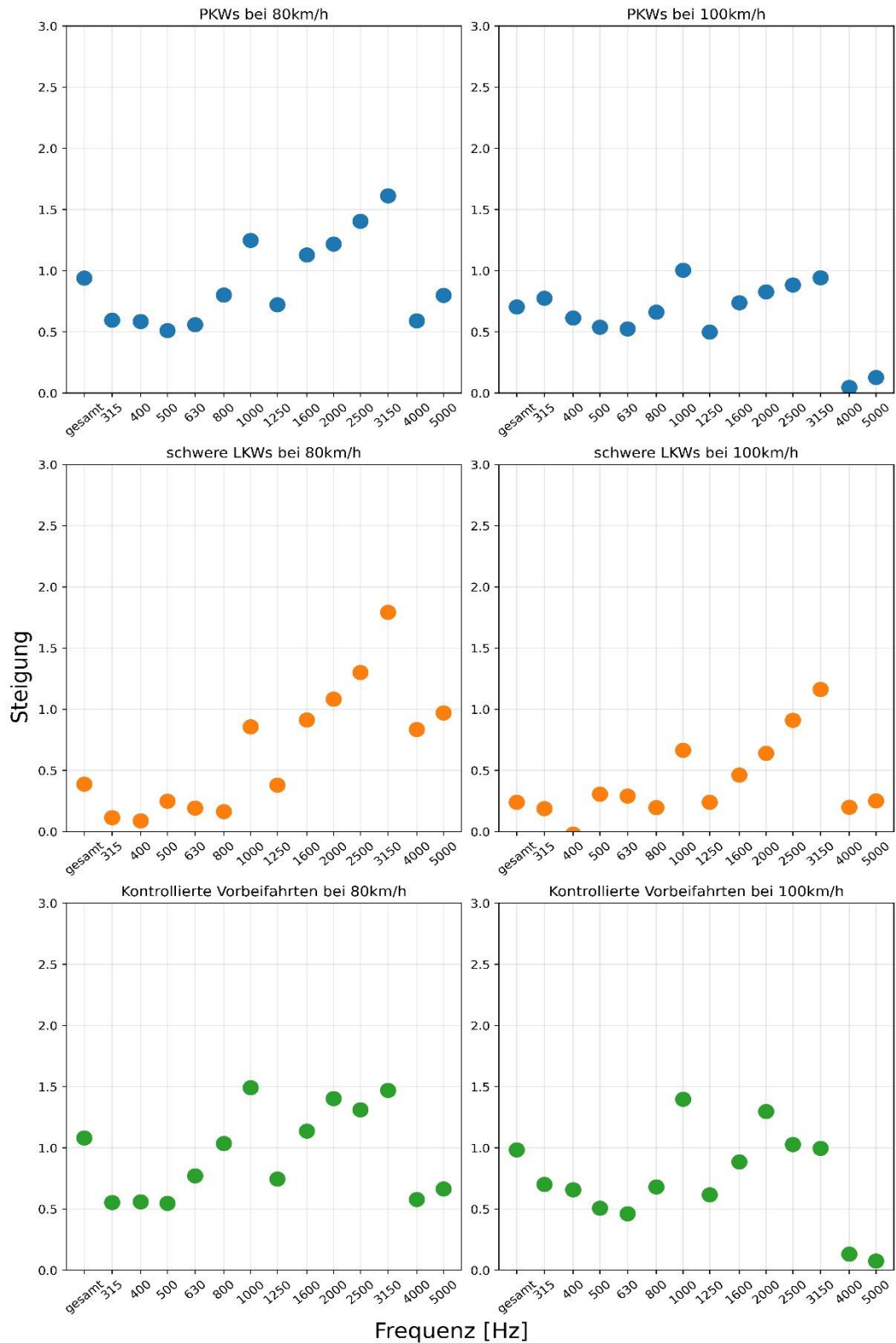


Abbildung 15: Steigung der linearen Regressionen für PKWs (oben, blau), LKWs (mittig, orange) und kontrollierte Vorbeifahrten (unten, grün).

Werden sämtliche CPX-Terzbänder mit allen SPB-Terzbändern korreliert, lässt sich eine Matrix von entsprechenden Bestimmtheitsmaßen bilden. Diese ist in Abbildung 16 farblich erneut für alle Fahrzeugkategorien und die beiden Geschwindigkeiten dargestellt. Erkennbar ist, dass PKWs und CPBs eine große Zahl an Terzbandkombinationen insbesondere im tiefen und mittleren Frequenzbereich aufweisen, deren Bestimmtheitsmaß r^2 sich jenen der Hauptdiagonalen (von links unten nach rechts oben) annähern. Ähnliche Zusammenhänge sind für Korrelationen hin zu LKW-Einzahlwerten nur für einzelne hochfrequente Terzbänder erkennbar. Starke geschwindigkeitsabhängige Änderungen sind nicht gegeben.

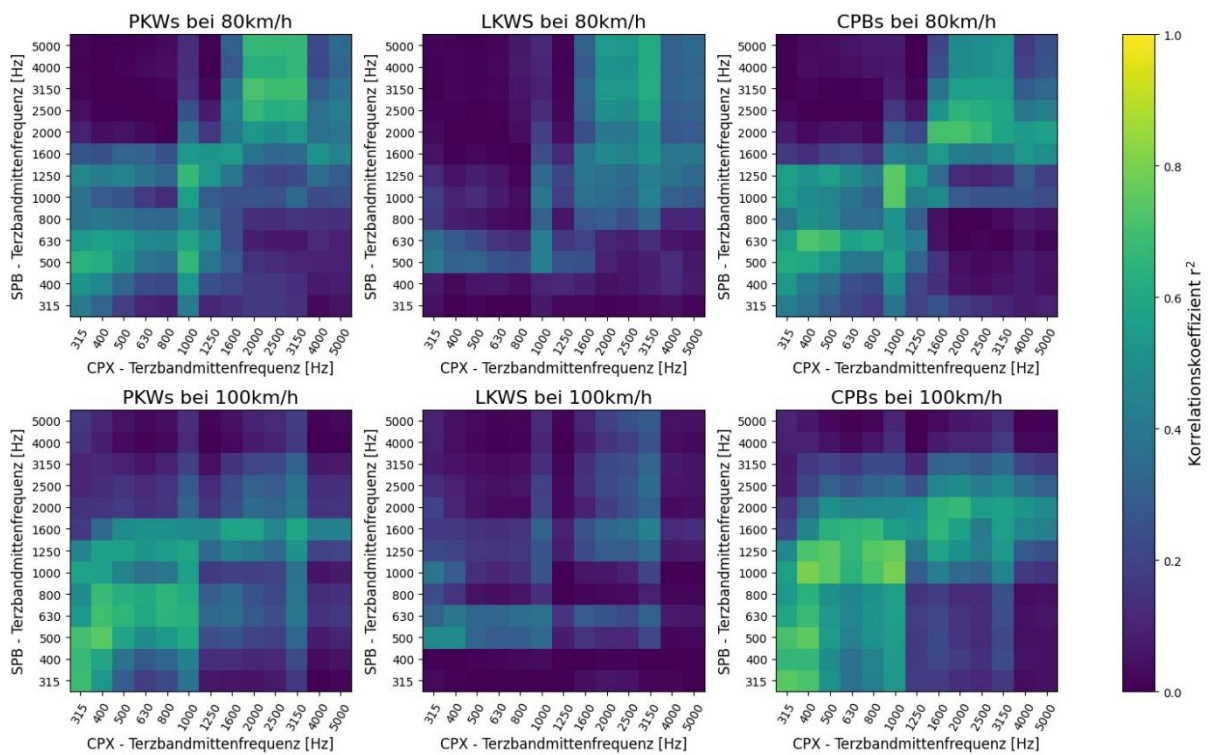


Abbildung 16: Korrelation der CPX-Terzbandpegel (Abszisse) mit den SPB-Terzbandpegeln (Ordinate) für PKWs (links), LKWs (mittig) und kontrollierte Vorbeifahrten (rechts) bei 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten).

8 TECHNISCHE BASIS FÜR EINE NEUE RVS 11.06.64 UND NEUE GRENZWERTE

Mit der Veröffentlichung der ISO 11819-2 (CPX-Verfahren) im Jahre 2017 wurde erstmals ein Rollgeräusch-Messverfahren für den Einfluss der Fahrbahndecke auf Basis der Nahfeldmessung am rollenden Reifen weltweit standardisiert. Damit liegt es nahe, einen Übergang vom derzeit in Österreich verwendeten Verfahren nach RVS 11.06.64 (RVS-Verfahren) ins Auge zu fassen. Folgende Punkte sprechen dafür:

- 1) Die ISO 11819-2:2017 stellt als internationale Norm den Stand der Technik dar.
- 2) Mit dem Übergang zum CPX-Verfahren ist eine höhere internationale Vergleichbarkeit der Messergebnisse wie auch der akustischen Eigenschaften der Fahrbahndecken gegeben.
- 3) Das CPX-Verfahren wurde auch schon bisher in nationalen wie auch internationalen Forschungsprojekten verwendet, sodass hier eine große Datenbasis vorliegt.
- 4) Die in ISO 11819-2 verwendeten Messreifen P1 und H1 nach ISO/TS 11819-3 geben durch ihre realitätsnahen Reifenprofile weit besser die typischen Rollgeräusch-Entstehungsmechanismen und akustischen Eigenschaften marktüblicher Reifen wieder als der sehr spezielle PIARC-Reifen mit 4 Längsrillen der RVS 11.06.64.

Eine Einschränkung besteht momentan darin, dass der nach ISO/TS 11819-3 vorgesehene Reifen H1 nicht mehr am Markt erhältlich ist, wodurch eine vollständige Charakterisierung der akustischen Fahrbahndeckeneigenschaften auch in Bezug auf LKW-Reifen derzeit nicht möglich ist. Es laufen derzeit Forschungsarbeiten, um die Festlegung eines neuen H1-Reifens zu ermöglichen. Dennoch stellt der Einsatz des P1-Reifens statt des PIARC-Reifens definitiv einen Schritt in Richtung mehr Realitätsnähe dar.

Die in Kapitel 6 ermittelten Korrelationen deuten darauf hin, dass die beiden Verfahren nahe genug verwandt sind, um einen Übergang zu ermöglichen, auch wenn vielleicht im Detail nicht alle Rollgeräusch-Entstehungsmechanismen in derselben Weise angesprochen werden. Es gibt allerdings noch folgende vor einem Übergang zu klärende Fragen:

- a) Die derzeitige RVS 11.06.64 ist nicht nur ein Messverfahren, sondern legt auch wichtige Rahmenbedingungen für Abnahmeprüfungen wie Messfahrzeug, Messabschnittslänge oder den Zeitpunkt der Prüfung recht genau fest, während die ISO 11819-2 hier wesentlich größere Freiheiten zulässt. Für die Festlegung dieser

offenen Punkte im Anschluss an die vorliegende Forschungsarbeit wurden Vorschläge erstellt.

- b) Die LMA-Messwerte der RVS 11.06.64 werden in der RVS 08.16.01 für Asphaltstraßen und der RVS 08.17.02 für Betonstraßen verwendet, wo auch Grenzwerte für die Abnahme einiger Fahrbahndeckentypen festgelegt sind. Durch die Änderung des Messverfahrens ist es notwendig, auch die dort angeführten Grenzwerte zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.
- c) Das System der Emissionsberechnung für Fahrbahndecken in der RVS 04.02.11 beruht darauf, dass nach Zuordnung einer Fahrbahndecke zu einer von 6 vorgegebenen Gruppen ein bestimmter Satz von Emissionsparametern gewählt werden darf, welcher für lärmarme Fahrbahndecken entsprechende Lärmreduktionen beinhaltet. Die Abnahmegrenzwerte für Fahrbahndecken nach RVS 11.06.64 sind derzeit von diesem System weitgehend entkoppelt. Eine direkte Umrechnung der LMA-Werte in Emissionsparameter und umgekehrt ist nicht möglich. Für eine ausgewählte Gruppe von lärmarmen Fahrbahndecken kann mit Hilfe der Abnahmemessung die Einordnung in die entsprechende Kategorie der RVS 04.02.11 grundsätzlich verifiziert werden. Idealerweise könnte in Zukunft eine bestandene Abnahmemessung die Einhaltung der Emissionsparameter für alle in der RVS 04.02.11 enthaltenen Fahrbahndecken verifizieren. In weiterer Folge wäre es eventuell auch denkbar, spezifische Emissionsparameter aus CPX-Messungen abzuleiten, wobei hier gute frequenzabhängige Korrelationen erforderlich wären.

Im Folgenden werden diese Fragestellungen im Detail betrachtet. Hierbei ist wesentlich festzuhalten, dass zu den einzelnen Punkten auf der vorliegenden Forschungsarbeit und Vorprojekten basierende Vorschläge gemacht werden. **Die Entscheidung über die mögliche Umsetzung dieser Vorschläge in Richtlinien ist Aufgabe der entsprechenden zuständigen Gremien und nicht Teil dieses Forschungsprojektes.** Diese Gremien können im Zuge des Prozesses auch noch weitere Anpassungen vornehmen.

8.1 Vorschläge für technische und organisatorische Festlegungen

Wie schon weiter oben angemerkt, beschreibt die ISO 11819-2:2017 (CPX-Verfahren) in erster Linie ein Messverfahren für den Einfluss von Fahrbahndecken auf das Reifenrollgeräusch und nicht im engeren Sinn ein Abnahmeverfahren wie die aktuelle RVS 11.06.64:1997 (RVS-Verfahren). Daher sind weitere Konkretisierungen und Festlegungen erforderlich, um dieses Messverfahren ebenso wie die aktuelle RVS verwenden zu können. Im Folgenden werden die einzelnen Gesichtspunkte diskutiert und Vorschläge für Festlegungen gemacht.

1) Art des Messfahrzeugs

- In der RVS 11.06.64 ist derzeit im Abschnitt 4.1 ein Einradanhänger mit allen technischen Details wie z.B. Messreifen, Abmessungen, Radlast, Aufhängung und absorbierender Auskleidung sowie Anforderungen an das Zugfahrzeug beschrieben.
- In der ISO 11819-2 ist in Abschnitt 9 prinzipiell eine große Variationsbreite von Fahrzeugtypen zugelassen. Es sind Ein- oder Zweiradanhänger mit oder ohne Abdeckung, wie auch Messungen an einem Rad eines Spezial-PKW's möglich. Festlegungen beziehen sich vor allem auf die Mikrofonpositionen und die Messreifen. In der Praxis sind Zweiradanhänger mit schalldämmender und schallabsorbierender Abdeckung die am weitesten verbreitete Realisierung von CPX-Anhängern.
- **Vorschlag: Das Messfahrzeug soll ein Zweiradanhänger mit schalldämmender und schallabsorbierender Abdeckung sein.**

2) Messgeschwindigkeit

- Nach ISO 11819-2 (Abschnitt 10.8.1) sind die Referenz-Messgeschwindigkeiten 50, 80 und 110 km/h, während die RVS 11.06.64 im Abschnitt 7.1.3 50, 80 und 100 km/h als Messgeschwindigkeiten vorsieht. Messungen mit Geschwindigkeiten über 100 km/h mit Anhängern sind in Österreich ohne Sondergenehmigung aufgrund der Straßenverkehrsordnung nicht möglich. Im internationalen Vergleich werden CPX-Messungen bei 80 km/h am häufigsten durchgeführt, sodass hier die beste Datenbasis vorliegt. Auch in der praktischen Durchführung kann mit 80 km/h im hochrangigen

Straßennetz eine notwendige Bremsung und ein Messabbruch aufgrund langsamer fahrender Fahrzeuge wie LKWs oft vermieden werden.

- **Vorschlag: Als Standard-Messgeschwindigkeit im hochrangigen Straßennetz wird 80 km/h festgelegt, Abweichungen davon sind nur mit Begründung zulässig.**

3) Messreifen

- Die Reifen P1 und H1 nach ISO/TS 11819-3 (festgelegt in ISO 11819-2 Abschnitt 9.4) sind wesentlich realitätsnäher als der PIARC-Reifen der RVS 11.06.64. Der P1 Reifen ist aufgrund der Tatsache, dass er durch ASTM standardisiert ist, gut verfügbar. Leider ist momentan (Stand 2022) der H1-Reifen am Markt nicht verfügbar, wobei Forschungen zu einem möglichen Nachfolger laufen.
- **Vorschlag: Vorläufig müssen Messung nur mit dem Reifen P1 (ASTM) nach ISO/TS 11819-3 durchgeführt werden.**

4) Lage der Messlinie:

- Die RVS 11.06.64 sieht in Abschnitt 7.1.4 vor, in der Mitte zwischen den Radspuren zu messen. Die ISO 11819-2 legt in Abschnitt 10.5 eine oder beide Radspuren als Messlinien fest. Die Festlegung in der RVS basierte ursprünglich auf der Annahme, dass bei einer neu hergestellten Fahrbahndecke die exakte seitliche Lage der Messlinie unkritisch sei. Wenn allerdings das Verfahren auch für Monitoring und Langzeit- bzw. Langstreckenuntersuchungen herangezogen werden soll, ist diese Annahme nicht mehr gerechtfertigt.
- **Vorschlag: Es ist mit einem Zweiradanhänger in beiden Radspuren zu messen und über die Radspuren zu mitteln.**

5) Länge und Lage der Messabschnitte

- Die derzeitige Formulierung in der RVS 11.06.64 lautet:
 - *„7.1.2 Meßabschnitte - Abnahmeprüfungen sind im allgemeinen an Strecken mit einer Länge von mindestens 500 m durchzuführen. Ausnahmen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten (z.B. Ortsgebiet, verkehrsberuhigte Zonen) sind zulässig. Meßlängen über 2000 m sind in Meßabschnitte von höchstens 500 m zu unterteilen. Im Hinblick auf*

die Auswertung ist eine Mindestmeßdauer von 15 s je Messabschnitt einzuhalten. Die Ergebnisse sind je Fahrstreifen und Meßabschnitt anzugeben.“

- Es ergeben daher sich folgende mögliche Messabschnittslängen für Messlängen über 2000 m:
 - 50 km/h: 209 m bis 500 m
 - 80 km/h: 334 m bis 500 m
 - 100 km/h: 417 m bis 500 m
- Mit CPX-Verfahren nach ISO 11819-2 sind auch kürzere Messabschnitte als derzeit in der RVS möglich, bis zu einer Minimallänge von 20 m.
- **Vorschlag: Die Standardlänge eines Messabschnittes beträgt 500 m, wobei abweichende Anfangs- und Endabschnitte mit minimal 100 m Länge möglich sind. Die Messabschnitte (ausgenommen Anfangs- und Endabschnitte) beginnen bei den km-Markierungen im 500 m-Raster (im A+S-Netz) bzw. 200 m-Raster (Landesstraßen B).**

6) Zeitpunkt der Prüfung:

- Die derzeitige Formulierung in der RVS 11.06.64 lautet:
 - *„7.1.1 Zeitpunkt der Prüfung – Die Prüfung hat noch vor der Verkehrsfreigabe oder binnen 28 Tagen nach Fertigstellung zu erfolgen. Ist dies witterungsbedingt nicht möglich, ist eine Überschreitung dieser Frist um weitere 28 Tage zulässig. Ist auch dies nicht möglich, ist eine einvernehmliche Festlegung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu treffen. Eine Rückrechnung nach einem Winter auf den Zustand vor dem Winter ist nicht zulässig.“*
- Die beiden hier verwendeten Zeitpunkte Deckenfertigstellung und Verkehrsfreigabe können bei komplexeren Baustellen voneinander zeitlich erheblich abweichen. Außerdem können fertiggestellte Fahrstreifen durch verkehrsorganisatorische Maßnahmen für eine Messung zeitweilig nicht zugänglich sein.

- Es sind starke Veränderungen der Fahrbahnoberfläche zu Beginn möglich, der Zustand auch nach einem Monat ist nicht notwendigerweise repräsentativ für die längerfristige akustische Wirkung.
- Bei einer Deckenfertigstellung gegen Jahresende kurz vor dem ersten Winterdienst kann durch Witterung oder Verkehrsorganisation der Fall eintreten, dass eine Messung nicht mehr rechtzeitig möglich ist.
- **Vorschlag:**
 - **Die Messung soll frühestens 1 Monat nach Verkehrsfreigabe des kompletten Fahrstreifens stattfinden, wobei der Fahrstreifen ohne Behinderung oder Gefahr mit dem Messfahrzeug befahrbar sein soll. Die Messung soll bis spätestens 3 Monate nach Verkehrsfreigabe stattfinden, wobei kein Winterdienst seit der Deckenfertigstellung stattgefunden haben darf. Falls die Einhaltung dieses Zeitraumes nicht möglich ist, ist unabhängig vom Grund eine einvernehmliche Festlegung des Messzeitpunktes zwischen Auftraggeber der Fahrbahndecke und Deckenhersteller möglich.**
- Eine Alternative dazu wäre eine Messung zu einem beliebigen Zeitpunkt, was aber die Erarbeitung und Anwendung einer standardisierten Alterungskurve (inklusive Winterdienst- Einfluss) erfordern würde. Diese Kurven liegen momentan noch nicht vor.
- Eine praktische Frage, die im Rahmen des Projektes nicht abschließend geklärt werden konnte, ob ein Fahrstreifen oder eine ganze Fertigerbahn beurteilt werden soll. Dies wird in den zuständigen Gremien zu klären sein.

7) Temperaturbereich, Niederschlag:

- Die RVS 11.06.64 sieht in Abschnitt 5.1 10°C bis 40°C Fahrbahntemperatur vor, während die ISO 11819-2 in Abschnitt 8.2 5°C bis 30°C Lufttemperatur fordert. Der Temperaturbereich der ISO 11819-2 ist in der Praxis leichter zu verifizieren und ermöglicht auch Messungen in den kälteren Monaten des Jahres. Die Fahrbahn muss in beiden Fällen trocken und ohne Niederschlag sein.
- **Vorschlag: Es ist die Regelung der ISO 11891-2 zu verwenden.**

8.2 Grenzwerte

Das Hauptanwendungsgebiet des Messverfahrens der RVS 11.06.64 waren bisher Abnahmemessungen fertiggestellter lärmarmen Fahrbahndecken. Bei einem Übergang zum CPX-Verfahren der ISO 11819-2 würde dieser Zweck sicherlich bestehen bleiben, wobei aber die ISO-Norm auch Anwendungen im Bereich des Langstrecken- oder Langzeitmonitoring sowie in der Klassifikation lärmarmen Fahrbahndeckentypen vorsieht. Weder die RVS 11.06.64 noch die ISO 11819-2 enthalten Festlegungen für Grenzwerte oder Sollwerte, sondern beschreiben nur Mess- beziehungsweise Abnahmeverfahren.

Bei einem Übergang zum CPX-Verfahren der ISO 11819-2 als Messverfahren wären also neben der RVS 11.06.64 auch die RVS 08.16.01 und die RVS 08.17.02 betroffen (siehe auch die Diskussion des österreichischen Grenzwertsystems in Abschnitt 3.2). Die beiden Messverfahren sind zwar ähnlich, aber man kann nicht a priori davon ausgehen, dass die derzeitigen Grenzwerte auch für das CPX-Verfahren angemessen und sinnvoll sind. Daher wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes auf Basis der ermittelten Daten und Korrelationen Vorschläge für neue Grenzwerte erarbeitet. Wie schon weiter oben angemerkt ist die Umsetzung dieser Vorschläge in den Richtlinien nicht Teil dieses Projektes, sondern den zuständigen Gremien vorbehalten.

Je nach Zielsetzung bieten sich zwei verschiedene Methoden zur Ermittlung neuer Grenzwerte an:

- 1) **1) Methode 1:** Es werden **auf Basis der gefundenen Korrelationen zwischen RVS- und CPX-Verfahren** L_{CPX} -Werte nach ISO 11819-2 für den Reifen P1 berechnet, die den bisher verwendeten LMA-Grenzwerten nach RVS 11.06.64 entsprechen. Diese Methode geht davon aus, dass die bisherigen Grenzwerte ihre Aufgabe gut erfüllt haben und die korrekte Einordnung lärmarmen Fahrbahndecken auch bezüglich der Emissionsparameter nach RVS 11.06.64 erlauben. Vorteil dieser Methode ist, dass sie bei Vorliegen der Korrelationen sehr einfach anzuwenden ist und auch kurzfristig keine Änderungen im Grenzwertsystem erfordert. Der Nachteil ist, dass bestehende Lücken im Grenzwertsystem (fehlende Fahrbahndecken, teilweise keine Grenzwerte für 80 km/h) bestehen bleiben und die Verknüpfung zu den Emissionsparametern der RVS 04.02.11 nicht verifiziert bleibt. Auch ist eine Differenzierung der Grenzwerte nach verschiedenen Fahrbahndecken oder deren Eigenschaften wie Größtkorn oder Hohlraumgehalt weiterhin nicht möglich (mit der Ausnahme von Waschbetondecken).

- 2) **Methode 2:** Es wird davon ausgegangen, dass eine Einhaltung der festzulegenden Grenzwerte auch eine Verifizierung der in der RVS 04.02.11 angegebenen Emissionsparameter für die dort verwendeten 6 Deckentypen darstellen soll. Dies würde eine neue und stärkere Verbindung als bisher zwischen den Bereichen Abnahmeprüfung der Fahrbahndecke und Schallimmissionsberechnung ermöglichen. Voraussetzung dafür ist entweder eine Umrechnung der sich in RVS 04.02.11 ergebenden Emissionsstärke in L_{CPX} -Werte oder einer Ermittlung von Emissionsparametern aus einer CPX-Messung. In beiden Fällen ist eine gute Korrelation zwischen den CPX- und SPB-Messergebnissen Voraussetzung. Allerdings ist für die Berechnung von Emissionsparametern aus einer CPX-Messung ein frequenz aufgelöstes Verfahren zumindest auf Oktavbandbasis erforderlich. Die Qualität der in diesem Projekt ermittelten frequenzabhängigen Korrelationen ist für diesen Schritt noch nicht ausreichend. Die Verifizierung der Emissionsparameter durch Einhaltung eines aus ihnen berechneten LCPX-basierten Grenzwertes in Form eines Gesamtpegels erscheint auf Basis der ermittelten Korrelationen aber durchführbar und wird im Folgenden dargestellt.

8.2.1 Grenzwertermittlung auf Basis der CPX-RVS Korrelation

Für die Ermittlung der Grenzwerte nach Methode 1 wurden die in **Tabelle 9** dargestellten Regressionsparameter für 80 und 100 km/h herangezogen. Es ergeben sich damit die in **Tabelle 13** angeführten Grenzwertvorschläge. Dabei ist zu beachten, dass die Umrechnung auf einer Regression mit einer Standardabweichung von etwa 0,5 dB basiert.

Fahr- geschwindigkeit (km/h)	Deckentyp	RVS Nr.	Grenzwert nach RVS 11.06.64 LMA (dB)	Grenzwertvorschlag nach ISO 11819-2 $L_{CPX, P1}$ (dB)
80	BBTM, SMA Deck S3, PA P1, PA P2	08.16.01 (Asphalt)	96	98,8
100	BBTM, SMA Deck S3, PA P1, PA P2	08.16.01 (Asphalt)	100	101,3
100	Waschbeton GK 8 mm	08.17.02 (Beton)	101	101,8
100	Waschbeton GK 11 mm	08.17.02 (Beton)	102	102,4

Tabelle 13: Grenzwertvorschläge für das Reifenrollgeräusch nach ISO 11819-2 basierend auf der RVS-CPX-Korrelation

Die vorgeschlagenen Grenzwerte bewegen sich in einem ähnlichen Wertebereich wie die bisherigen Grenzwerte, wobei die schon erwähnte geringere Spreizung des CPX-Verfahrens zum Tragen kommt.

8.2.2 Grenzwertermittlung auf Basis der CPX-SPB-Korrelation

Bei der Ermittlung von $L_{CPX, P1}$ -Werten, die geeignet sind, eine Verifikation der Emissionsparameter aus der RVS 04.02.11 darzustellen, sind folgende Schritte erforderlich:

- 1) Wahl der Fahrbahndecke aus der Tabelle 11 der RVS 04.02 11:2021 für die Fahrzeugklasse $m=1$ (PKW)
- 2) Ablesen der Koeffizienten $\alpha_{i,m}$ und β_m
- 3) Berechnung der gerichteten Schalleistung je Meter im Frequenzband i der Emissionslinie $L_{W',eq,line,i,m}$ sowie Berechnung der gesamten A-bewerteten

Schalleistung pro Meter für eine Verkehrsstärke von 1 Kfz/h bei der jeweiligen Fahrgeschwindigkeit

Ermittlung des $L_{Aeq}^{1Kfz/h}$ aus dem $L_{WA',eq,line}$ entsprechend der Umrechnung

$$L_{Aeq}^{1Kfz/h} = L_{WA',eq,line} - 3 \text{ dB} \quad (\text{aus [39], Seite 5})$$

- 4) Ermittlung des zugehörigen LCPX, P1-Wertes aus der Regression zwischen CPX- und SPB-Werten.

Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten, je nachdem an welchen Wertebereich die Regression bestmöglich angepasst werden soll. Die L_{CPX} -Werte in den vorhandenen Daten zeigen eine kleinere Spreizung als die $L_{Aeq}^{1Kfz/h}$ -Werte. Bei einer Regression, die die Abweichungen von den gemessenen L_{CPX} -Werten minimiert, also die $L_{Aeq}^{1Kfz/h}$ -Werte als unabhängige und die L_{CPX} -Werte als abhängige Variable betrachtet, ist daher mit geringeren Differenzen zwischen den L_{CPX} -Werten als zwischen den korrespondierenden $L_{Aeq}^{1Kfz/h}$ -Werten zu rechnen. Der Vorteil dieser Variante, im Folgenden als **Variante 1** bezeichnet, ist, dass die mittels Regression ermittelten L_{CPX} -Grenzwerte sich größtenteils im Rahmen der gemessenen L_{CPX} -Werte bewegen werden.

Die zweite Möglichkeit ist die Verwendung einer Umkehrung der Regression aus **Tabelle 11** für PKW (**Variante 2**). Der Vorteil bei dieser Variante ist, dass die Abweichungen zu den $L_{Aeq}^{1Kfz/h}$ -Werten minimiert werden, die den Emissionsparametern weitgehend direkt entsprechen, wodurch sich größere Pegeldifferenzen auch bei den L_{CPX} -Werten ergeben. Dabei muss in Kauf genommen werden, dass speziell für lärmarme Fahrbahndecken korrespondierende L_{CPX} -Werte aus der Regression berechnet werden, die etwas außerhalb des Wertebereiches der bisher erfassten L_{CPX} -Messwerte liegen und daher noch nicht so gut abgesichert sind. Speziell für diese Fahrbahndecken wäre es dann wichtig, diese Werte durch weitere CPX- und SPB-Messungen zu verifizieren. Im Folgenden sind beide Varianten und die sich ergebenden Grenzwertvorschläge dargestellt.

Variante 1)

Wie oben angeführt wurde bei dieser Variante die Regressionsgleichung

$$L_{CPX} = a_1 \cdot L_{Aeq}^{1Kfz/h} + b_1$$

mit einer **Minimierung der Abweichung von den gemessenen L_{CPX} -Werten** verwendet. Die sich ergebenden Regressionsgeraden sind in **Abbildung 17** und **Abbildung 18** sowie **Tabelle 14** und **Tabelle 15** dargestellt.

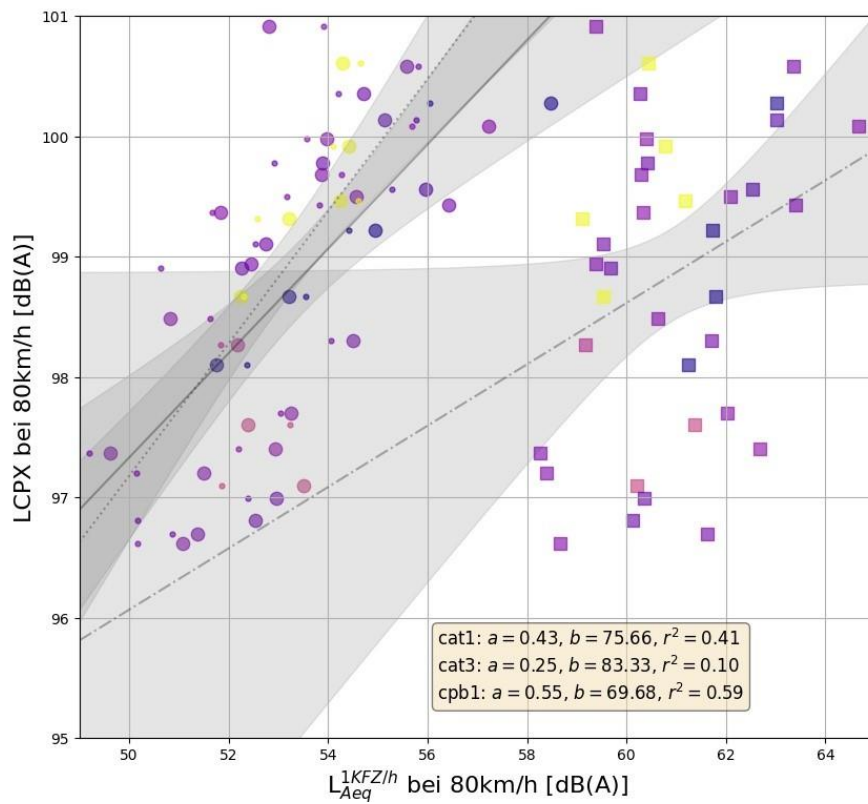


Abbildung 17: Lineare Regressionen der LCPX-Pegel in Abhängigkeit von den energieäquivalenten Dauerschallpegeln für PKW (Kategorie 1, Kreise), LKW (Kategorie 3, Quadrate) und kontrollierte Vorbeifahrten (Kategorie CPB1, Punkte) für 80 km/h.

Fahrzeugtyp	a ₁ (dB/dB)	b ₁ (dB)	Regressionsgleichung	RSE (dB)	r ²
PKW	0,43	75,66	$L_{CPX} = 0,43 \cdot L_{Aeq}^{1Kfz/h} + 75,66$	0,9	0,41
LKW	0,25	83,33	$L_{CPX} = 0,25 \cdot L_{Aeq}^{1Kfz/h} + 83,33$	1,2	0,10

Tabelle 14: Übersicht der Regressionsparameter für die CPX-SPB-Regression für 80 km/h

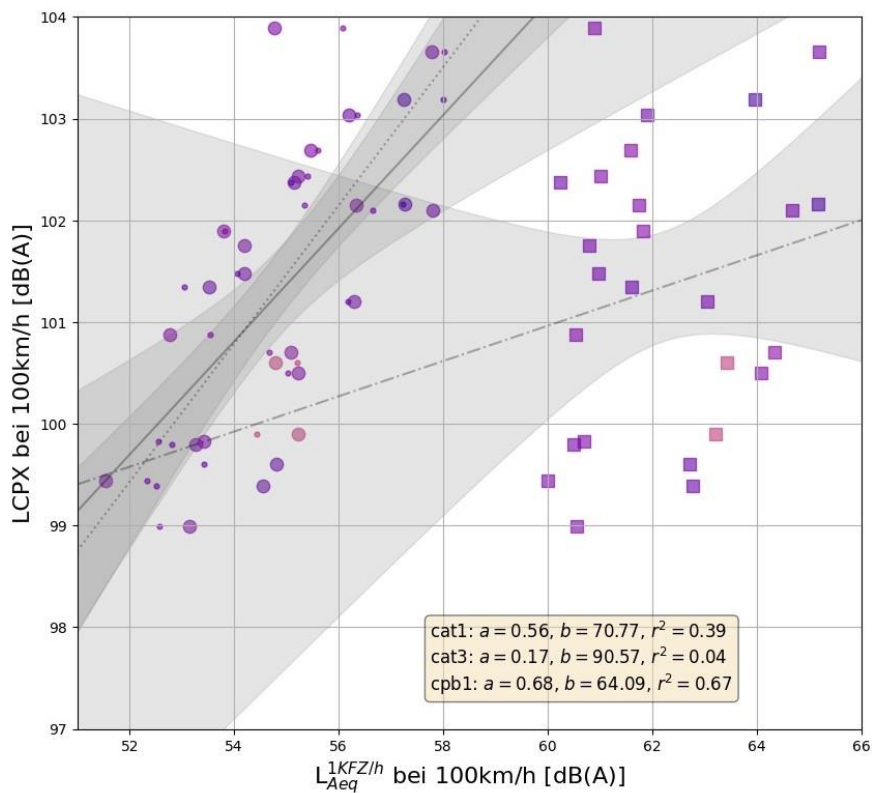


Abbildung 18: Lineare Regressionen der LCPX-Pegel in Abhängigkeit von den energieäquivalenten Dauerschallpegeln für PKW (Kategorie 1, Kreise), LKW (Kategorie 3, Quadrate) und kontrollierte Vorbeifahrten (Kategorie CPB1, Punkte) für 100 km/h.

Fahrzeugtyp	a ₁ (dB/dB)	b ₁ (dB)	Regressionsgleichung	RSE (dB)	r ²
PKW	0,56	70,77	$LCPX = 0,56 \cdot L_{Aeq}^{1Kfz/h} + 70,77$	1,2	0,39
LKW	0,17	90,57	$LCPX = 0,25 \cdot L_{Aeq}^{1Kfz/h} + 83,33$	1,4	0,04

Tabelle 15: Übersicht der Regressionsparameter für die CPX-SPB-Regression für 100 km/h

Wenn die Schritte 1) bis 4) für die derzeit in der RVS 04.02.11 angegebenen Emissionsparameter mit den Regressionsparametern a₁ und b₁ für PKW durchgeführt werden, so ergeben sich die in Tabelle 16 und Tabelle 17 dargestellten Grenzwertvorschläge. Dabei ist zu beachten, dass in die Regressionen auch Messstellen mit höheren Pegeln eingehen, die nicht notwendigerweise Fahrbahndecken im Neubauzustand bei der Abnahme entsprechen.

Fahrzeugkategorie	PKW			
v	80	km/h		
T	20	°C		
Fahrbahndecke	Typ	$L_{WA',eq, line, m}$ (dB) RVS 04.02.11 (2021)	L_{Aeq}^1 (dB)	$L_{CPX,P1}$ (dB) ISO 11819-2
Asphaltbeton	AC8 deck, AC11 deck	55,2	52,2	98,1
Offenporiger Asphalt	PA 8, PA11, PA 16	52,0	49,0	96,7
Lärmindernder Splittmastixasphalt	SMA 8 deck S3	52,7	49,7	97,0
Splittmastixasphalt	SMA 11 deck S1, SMA 11 deck S2	55,6	52,6	98,3
Waschbeton	WB OB GK 11	56,8	53,8	98,8
Lärmindernder Waschbeton	WB-LM OB GK 8	55,6	52,6	98,3

Tabelle 16: Grenzwertvorschläge basierend auf CPX-SPB-Regressionen und Emissionsparametern für 80 km/h und PKW

Fahrzeugkategorie	PKW			
v	100	km/h		
T	20	°C		
Fahrbahndecke	Typ	$L_{WA',eq, line, m}$ (dB) RVS 04.02.11 (2021)	L_{Aeq}^1 (dB)	$L_{CPX,P1}$ (dB) ISO 11819-2
Asphaltbeton	AC8 deck, AC11 deck	57,1	54,1	101,1
Offenporiger Asphalt	PA 8, PA11, PA 16	54,1	51,1	99,4
Lärmindernder Splittmastixasphalt	SMA 8 deck S3	54,7	51,7	99,7
Splittmastixasphalt	SMA 11 deck S1, SMA 11 deck S2	57,5	54,5	101,3
Waschbeton	WB OB GK 11	58,9	55,9	102,1
Lärmindernder Waschbeton	WB-LM OB GK 8	57,7	54,7	101,4

Tabelle 17: Grenzwertvorschläge basierend auf CPX-SPB-Regressionen und Emissionsparametern für 100 km/h und PKW

Variante 2)

Bei dieser Variante wird die Regression aus **Tabelle 11** für PKW (**Variante 2**) verwendet, welche die Abweichungen zu den $L_{Aeq}^{1Kfz/h}$ -Werten minimiert. Dabei ergeben sich die Werte der folgenden Gleichung

$$L_{CPX} = a_2 \cdot L_{Aeq}^{1Kfz/h} + b_2$$

aus der Umkehrung der Regression in **Tabelle 11**. Die zugehörigen Regressionsparameter sind in **Tabelle 18** dargestellt.

Fahr- geschwindigkeit (km/h)	a_2 (dB/dB)	b_2 (dB)	Regressionsgleichung	RSE für $L_{Aeq}^{1Kfz/h}$ (dB)	r^2
80	1,064	41,941	$L_{CPX} = 1,064 \cdot L_{Aeq}^{1Kfz/h} + 41,941$	1,4	0,41
100	1,420	23,287	$L_{CPX} = 1,420 + 23,287$	1,5	0,39

Tabelle 18: Übersicht der Regressionsparameter für die umgekehrte SPB-CPX-Regression für PKW

Wenn die Schritte 1) bis 4) für die derzeit in der RVS 04.02.11 angegebenen Emissionsparameter mit den Regressionsparametern a_2 und b_2 für PKW durchgeführt werden, so ergeben sich die in **Tabelle 19** und **Tabelle 20** dargestellten Grenzwertvorschläge. Wie schon weiter oben ausgeführt, ergibt sich hier eine stärkere Spreizung der L_{CPX} -Grenzwerte, die im Fall von 80 km/h auch die Differenzen in den $L_{Aeq}^{1Kfz/h}$ gut widerspiegelt. Allerdings ist, wie schon erwähnt, der L_{CPX} -Wertebereich unter 96 dB bei 80 km/h für sehr lärmarme Fahrbahndecken nicht in den für die Regression herangezogenen bisher erhobenen Daten enthalten und sollte daher durch ergänzende Untersuchungen verifiziert werden.

Fahrzeugkategorie	PKW			
v	80	km/h		
T	20	°C		
Fahrbahndecke	Typ	$L_{WA',eq, line, m}$ (dB) RVS 04.02.11 (2021)	L_{Aeq}^1 (dB)	$L_{CPX,P1}$ (dB) ISO 11819-2
Asphaltbeton	AC8 deck, AC11 deck	55,2	52,2	97,4
Offenporiger Asphalt	PA 8, PA11, PA 16	52,0	49,0	94,1
Lärmindernder Splittmastixasphalt	SMA 8 deck S3	52,7	49,7	94,8
Splittmastixasphalt	SMA 11 deck S1, SMA 11 deck S2	55,6	52,6	97,9
Waschbeton	WB OB GK 11	56,8	53,8	99,1
Lärmindernder Waschbeton	WB-LM OB GK 8	55,6	52,6	97,9

Tabelle 19: Grenzwertvorschläge basierend auf SPB-CPX-Regressionen und Emissionsparametern für 80 km/h und PKW

Fahrzeugkategorie	PKW			
v	100	km/h		
T	20	°C		
Fahrbahndecke	Typ	$L_{WA',eq, line, m}$ (dB) RVS 04.02.11 (2021)	L_{Aeq}^1 (dB)	$L_{CPX,P1}$ (dB) ISO 11819-2
Asphaltbeton	AC8 deck, AC11 deck	57,1	54,1	100,2
Offenporiger Asphalt	PA 8, PA11, PA 16	54,1	51,1	95,8
Lärmindernder Splittmastixasphalt	SMA 8 deck S3	54,7	51,7	96,7
Splittmastixasphalt	SMA 11 deck S1, SMA 11 deck S2	57,5	54,5	100,7
Waschbeton	WB OB GK 11	58,9	55,9	102,8
Lärmindernder Waschbeton	WB-LM OB GK 8	57,7	54,7	101,0

Tabelle 20: Grenzwertvorschläge basierend auf SPB-CPX-Regressionen und Emissionsparametern für 100 km/h und PKW

8.2.3 Weitere Diskussionspunkte zum Thema Grenzwerte

Zusammenfassend konnten folgende Ergebnisse bezüglich Grenzwertvorschlägen erzielt werden:

- Eine einfache Umrechnung der existierenden Grenzwerte auf Basis der RVS-CPX-Korrelation ist möglich.
- Eine Verifikation der Emissionsparameter der RVS 04.02.11 im Sinne einer gesamten Schallleistung ist durch eine Abnahmemessung auf Basis der LCPX-Gesamtpegel möglich.
- Zur Verifikation der frequenz aufgelösten Detailparameter der RVS 04.02.11 ist die Korrelation der Terzbandpegel zu gering.

Die weitere Grenzwertfestlegung inklusive des Umganges mit Messunsicherheiten sollte in den zuständigen FSV-Gremien behandelt werden. Dazu können folgende Empfehlungen und Vorschläge zur Vereinheitlichung und Vereinfachung angegeben werden

- Rundungsverfahren, Messtoleranzen:
 - **Vorschlag: Die Messergebnisse sind nach allen erforderlichen Berechnungen auf ganze dB zu runden, danach werden keine zusätzlichen Messtoleranzen berücksichtigt.**
- Messgeschwindigkeit:
 - **Vorschlag: Es sollten für alle relevanten Fahrbahndecken Grenzwerte zumindest für 80 km/h als Standardgeschwindigkeit festgelegt werden.**
- Straßenkategorie
 - **Vorschlag: Es wird keine Unterscheidung nach Straßentyp vorgenommen.**

Generell wäre eine einheitliche Struktur der Regelungen für Asphalt- und Betondecken zu empfehlen. Im Sinne der Verifikation der RVS 04.02.11 würde auch Abnahmen oder zumindest ein Monitoring für alle Fahrbahndeckentypen die Datenbasis sehr verbessern.

Bei der Definition von Grenzwerten sollte auch das jeweilige Langzeitverhalten der betrachteten Deckschicht berücksichtigt werden. Hierzu könnten vorausschauend niedrigere

Werte gewählt werden, um beispielsweise im Mittel über die Liegedauer die Einhaltung der Werte nach RVS 04.02.11 zu gewährleisten (vergleiche z.B. Abschnitt 3.4 bezüglich der Schweiz). In rezenten Bescheiden von Bundesstraßen-Neubauprojekten werden Abnahme- bzw. Konstanzprüfungen gefordert, um die Prognosen nach RVS 04.02.11 zu gewährleisten. Die vorliegenden Ergebnisse können sowohl zur Wahl geeigneter Methoden als auch möglicher Zielwerte dienen.

9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Forschungsprojekt ROSALIA konnten zu den eingangs gestellten Forschungsfragen folgende Ergebnisse erzielt werden:

- 1) Die Art der Anforderungen an das Rollgeräusch lärmindernder Fahrbahndecken in Österreich entsprechen weitgehend auch international vergleichbaren Systemen. Allerdings sind aufgrund der national noch immer sehr unterschiedlichen Verfahren zur Lärmberechnung sowie durch national verschieden definierte Fahrbahndecken entsprechende Emissions-Kennwerte nicht direkt vergleichbar. Die Abnahme fertiggestellter Fahrbahndecken durch einen Rollgeräusch-Messanhänger wie in Österreich ist derzeit noch eher selten zu finden. In Zukunft ist zu erwarten, dass durch das auf europäischer Ebene eingeführte Rechenverfahren der EU-Richtlinie 2015/996 und durch europäische Standardisierung der Messverfahren die Vergleichbarkeit erhöht wird.
- 2) Es wurde in vergleichbaren und für Österreich relevanten Ländern einige Beispiele lärmarmen Fahrbahndecken identifiziert, wobei deren Verwendbarkeit in Österreich auch von nichtakustischen und bautechnischen Gegebenheiten abhängt. Am ähnlichsten zu den in Österreich definierten Fahrbahndecken sind die in Deutschland verwendeten lärmarmen Splitt-Mastix-Asphalt-Varianten sowie lärmarme offenporige Asphalte, die aber in Österreich aufgrund der Verhältnisse im Winter praktisch nicht eingesetzt werden. Bezüglich der bautechnischen Parameter wurde der internationale Stand der Forschung dargestellt, nach dem sich neben dem Fahrbahndeckentyp vor allem Größtkorn und Hohlraumgehalt auf die akustischen Eigenschaften auswirken.
- 3) Es wurde eine gute Korrelation zwischen den Messergebnissen von Rollgeräuschmessungen nach RVS 11.06.64 (RVS-Verfahren) und ISO 11819-2 (CPX-Verfahren) im relevanten Wertebereich festgestellt. Die Unterschiede zwischen Messergebnissen nach ISO 11819-2 für verschiedene Fahrbahndecken zeigen allerdings geringere Differenzen als nach RVS 11.06.64, was vor allem auf die realitätsnähere Profilierung des Messreifens der ISO 11819-2 zurückzuführen ist.
- 4) Auch zwischen den Messergebnissen nach ISO 11819-2 (CPX-Verfahren) und ISO 11819-1 (SPB-Verfahren) konnte eine Korrelation festgestellt werden, die allerdings für PKW weitaus besser ist als für LKW, was auf den verwendeten Messreifen P1 der ISO/TS 11819-3 zurückzuführen ist. Überdies zeigen die frequenz aufgelösten Korrelationen in den Terzbändern unterschiedliche Korrelationen, wodurch eine

Ermittlung frequenzabhängiger Emissionswerte aus CPX-Werten derzeit noch mit größeren Unsicherheiten behaftet wäre.

Über die Beantwortung der konkreten Forschungsfragen hinaus wurden auch die bei einem Übergang von Abnahmeverfahren der derzeitigen RVS 11.06.64 zum Messverfahren der ISO 11819-2 noch zu klärenden Fragen behandelt. Es wurde eine Reihe technischer und organisatorischer Festlegungen vorgeschlagen, um die nach ISO 11819-2 möglichen Variationen einzuschränken und um die für ein Abnahmeverfahren notwendige Regelungen zu ergänzen. Außerdem wurden sowohl auf Basis der RVS-CPX-Korrelation wie auch ausgehend von den Emissionsparametern der RVS 04.02.11 in Kombination mit der CPX-SPB-Korrelation Vorschläge für neue Grenzwerte und Anpassungen im Grenzwertsystem erarbeitet. Die weitere Bearbeitung und mögliche Umsetzung dieser Vorschläge in Richtlinien war nicht Teil des Projektes, sondern den zuständigen Gremien vorbehalten.

Die vorgestellten Methoden können auch als Grundlage bzw. Erweiterung für wiederkehrende Kontrollen im Rahmen von bescheidgemäßen Monitoringmaßnahmen nach Neubau dienen.

Eine weitere wesentliche in Folgeprojekten und Folgeaktivitäten zu klärende Frage ist die Festlegung eines einheitlichen und gut dokumentierten Verfahrens für die Ermittlung von akustischen Emissionsparametern ähnlich der deutschen TP-KoSD-19 für verschiedene Arten von Fahrbahndecken aus geeigneten Messungen oder Kombinationen von Messungen, welche nicht Gegenstand dieses Projektes war, aber den Einsatz neuartiger lärmärmer Fahrbahnoberflächen abseits der derzeit in der RVS 04.02.11 aufgelisteten Fahrbahndecken ermöglichen würde.

Die Projektpartner danken dem Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) für die Finanzierung und Unterstützung sowie der Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) für die Betreuung dieses Projektes.

10 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] RVS 11.06.64 Rollgeräuschmessung, Ausgabe 1997, www.fsv.at
- [2] OENORM EN ISO 11819-2, Akustik - Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche - Teil 2: Nahfeldmessverfahren, Ausgabe 2017, www.iso.org
- [3] ISO/TS 11819-3, Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 3: Reference tyres, 2021, www.iso.org
- [4] OENORM EN ISO 11819-1, Akustik - Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche - Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren, Ausgabe 2002, www.iso.org
- [5] RVS 04.02.11 Berechnung von Schallemissionen und Lärmschutz, Ausgabe 2021, www.fsv.at
- [6] RVS 08.16.01 Technische Vertragsbedingungen - Bituminöse Trag- und Deckschichten - Anforderungen an Asphaltsschichten, Ausgabe Februar 2019, www.fsv.at
- [7] RVS 08.17.02 Technische Vertragsbedingungen – Betondecken - Deckenherstellung, Ausgabe April 2011, www.fsv.at
- [8] Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, eur-lex.europa.eu
- [9] 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, eur-lex.europa.eu
- [10] Tyre/road noise reference book. Sandberg, U., and Ejsmont, J. Kisa, Sweden 2002.
- [11] The Tyre, Mechanical and acoustic comfort. Ed. Societe Technologie Michelin, Clermont-Ferrand, France 2002
- [12] ASTM F 2493:2014, Standard Specification for P225/60R16 97S Radial Standard Reference Test Tire
- [13] ÖAL Richtlinie 28: Berechnung der Schallausbreitung im Freien und Zuweisung von Lärmpegeln und Bewohnern zu Gebäuden, Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, 2019
- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: RLS-19 – Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. Köln, 2019
- [15] Umweltbundesamt: Lärmindernde Fahrbahnbeläge. Ein Überblick über den Stand der Technik. Dessau-Roßlau, 2014
- [16] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: TP-KoSD-19 – Technische Prüfvorschriften zur Korrekturwertbestimmung der Geräuschemission von Straßendeckschichten. Köln, 2019

- [17] BAFU, ASTRA: Leitfaden Straßenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung. Bern, 2006
- [18] SNR 640 425 – Lärmindernde Decken – Grundlagen
- [19] SNR 640 436 - Semidichtes Mischgut und Deckschichten; Festlegungen, Anforderungen, Konzeption und Ausführung
- [20] VSS: Straße und Verkehr – Lärmarme Straßenbeläge aus Asphalt – Stand der Forschung und Erfahrung aus der Praxis. 09/2017
- [21] BAFU, ASTRA: Leitfaden Straßenlärm - Vollzugshilfe für die Sanierung – Anhang 1b: Belagskennwerte – Anwendungshilfe für die Belagsakustik. Bern, 2006
- [22] BAFU, ASTRA: Leitfaden Straßenlärm - Vollzugshilfe für die Sanierung – Anhang 1c: Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Straßen
- [23] E. Hammer, H. Gloor, E. Bühlmann: Lärmarme Beläge – Erhalten was man bestellt! DAGA 2017
- [24] Forschungspaket Lärmarme Beläge Innerorts – Teilprojekt (TP) 3: Langzeitmonitoring. 2017
- [25] ADURA (Ergebnisbericht): akustische Dauerhaftigkeit dichter oder semi-dichter Asphaltdecken. Wien, 2020
- [26] Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, van 12 juni 2012, nr. IENM/BSK-2012/37333, houdende vaststelling van regels voor het berekenen en meten van de geluidsbelasting en de geluidproductie ingevolge de Wet geluidhinder en de Wet milieubeheer (Reken- en meetvoorschrift geluid 2012)
- [27] CROW Publicatie 316: De wegdekcorrectie voor geluid van wegverkeer 2012. September 2012
- [28] Manual of Contract documents for Highway Works (MCHW), National Highways, UK, <https://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/mchw/index.htm>
- [29] Highways Authority Product Approval System (HAPAS), <https://www.bbacerts.co.uk/bba-hapas-certification-for-highway-products-and-systems-2/>
- [30] Interim Guideline Document for the Assessment and Certification of Thin Surfacing for Highways, British Board of Agrément, 2013
- [31] Calculation of road traffic noise, Great Britain: Department of Transport, Great Britain: Welsh Office, 1988
- [32] F. Anfosso-Lédée, Y. Brosseau, Acoustic monitoring of low noise road pavements, Noise Control Eng. J. 57 (2), p. 50-62, March-April 2009
- [33] IDDRIM (Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité), Guide Bruit de roulement, Mai 2020

[34] Hoofdstuk 1 - Algemene administratieve voorschriften, Standaardbestek 250 voor de wegenbouw – versie 4.1, Agentschap Wegen& Verkeer, 2016

[35] Appendix 10: Guide for Mapping Existing National Road Methods to the CNOSSOS-EU Road Source Method, <https://circabc.europa.eu/sd/a/00a6a620-b570-4f57-9dbb-76f66a48b325/CNOSSOS->

[36] Licitra et al., Performance Assessment of Low-Noise Road Surfaces in the Leopoldo Project: Comparison and Validation of Different Measurement Methods, Coatings 2015, 5, 3-25

[37] Støjhandlingsplan for statens veje, 2018 – 2023. Rapport 593. Vejdirektoratet, Oktober 2018

[38] Krivanek et al., Noise level of road pavements and their acoustic characterization by CPX method according to technical specifications TP259, Paper No 216, Akustika, vol. 30, Sept. 2018

[39] Kirisits, Christian, Ermittlung von Korrekturwerten und Ausarbeitung von Testbeispielen für die nationale Straßenverkehrslärberechnung aufgrund des korrigierten Annex II der EU-Umgebungslärmrichtlinie, 2021, Studie im Auftrag des BMK

11 ANHANG

Straße	Baukilometer	Richtung	Belagstyp	Einbaujahr	Datum CPX-Messung	Datum SPB-Messung	80 km/h			100 km/h		
							L _{CPX, P1, 80}	L _{Aeq} ^{1PKW/h}	L _{Aeq} ^{1LKW/h}	L _{CPX, P1, 100}	L _{Aeq} ^{1PKW/h}	L _{Aeq} ^{1LKW/h}
A02	7,00	-	Waschbeton	2002	25.04.2018	19.06.2018	99,6	56,0	62,5	102,2	57,3	65,2
A02	7,00	-	Grinding	2018	06.11.2018	07.11.2018	96,6	51,1	58,7	99,0	53,1	60,6
A02	7,00	-	Grinding	2018	09.07.2019	06.08.2019	96,8	52,5	60,1	99,4	54,6	62,8
A02	7,00	-	Grinding	2018	13.08.2021	01.06.2021	98,3	52,2	59,2	-	53,7	62,3
A02	9,30	+	Waschbeton	2002	25.04.2018	19.06.2018	100,1	55,1	63,0	103,2	57,3	64,0
A02	9,30	+	Grinding	2018	E	07.11.2018	97,2	51,5	58,4	99,8	53,4	60,7
A02	9,30	+	Grinding	2018	09.07.2019	06.08.2019	97,0	52,9	60,4	99,6	54,8	62,7
A02	348,20	-	Grinding	2017	09.07.2018	24.07.2018	97,7	53,3	62,0	100,5	55,2	64,1
A02	350,70	-	Waschbeton	2001	09.07.2018	24.07.2018	100,1	57,2	64,7	-	58,7	66,0
A05	25,20	-	Grinding	2017	18.06.2018	12.06.2018	96,7	51,4	61,6	99,8	53,3	60,5
A05	25,20	-	Grinding	2017	30.10.2018	12.10.2018	97,1	53,5	60,2	99,9	55,2	63,2
A05	25,20	+	Waschbeton	2017	18.06.2018	12.06.2018	97,6	52,4	61,4	100,6	54,8	63,4
A10	104,80	-	Grinding	2017	15.11.2018	01.08.2018	97,4	52,9	62,7	100,7	55,1	64,3
A10	105,20	-	Waschbeton	2008	15.11.2018	01.08.2018	100,6	55,6	63,4	103,7	57,8	65,2
A10	157,20	-	Waschbeton	1988	09.07.2018	23.07.2018	99,4	56,4	63,4	102,1	57,8	64,7
A10	157,50	+	Grinding	2017	09.07.2018	23.07.2018	98,3	54,5	61,7	101,2	56,3	63,0
A12	12,04	+	LSMA8	2011	15.06.2021	23.06.2020	99,9	54,4	60,8	-	56,0	61,9
A12	14,01	-	LSMA8	2011	16.06.2021	23.06.2020	99,5	54,2	61,2	-	56,3	62,9
A12	18,30	+	LSMA8	2010	15.06.2021	23.06.2020	100,6	54,3	60,4	-	56,6	62,7
A12	28,24	-	LSMA8	2013	16.06.2021	23.06.2020	98,7	52,2	59,5	-	54,3	61,4
A12	65,51	-	LSMA8	2014	15.06.2021	24.06.2020	99,3	53,2	59,1	-	54,6	61,4
S06	72,00	+	SMA-S3	2006	15.06.2018	02.10.2018	100,3	58,5	63,0	-	59,5	64,6
S06	96,70	-	SMA-S3	2016	15.06.2018	04.10.2018	98,7	53,2	61,8	-	54,9	63,9
S06	99,90	+	SMA-S3	2011	15.06.2018	04.10.2018	99,2	54,9	61,7	-	56,4	63,5
S06	99,90	+	SMA-S3	2011	19.10.2021	10.11.2021	99,4	51,8	60,3	101,9	53,8	61,8
S06	100,00	-	SMA-S3	2017	15.06.2018	04.10.2018	98,1	51,8	61,2	-	53,9	62,8
S06	100,00	-	SMA-S3	2017	19.10.2021	15.11.2021	98,5	50,8	60,6	100,9	52,8	60,5
A03	15,85	-	SMA-S2	2013	11.10.2021	20.10.2021	98,9	52,3	59,7	101,3	53,5	61,6
A05	26,00	+	Waschbeton	2017	30.09.2021	28.09.2021	98,9	52,5	59,4	101,8	54,2	60,8
A06	16,60	-	Waschbeton	2007	11.10.2021	05.10.2021	99,5	54,6	62,1	102,1	56,3	62,2
A08	19,70	+	SMA-S3	2009	18.10.2021	15.11.2021	99,8	53,9	60,4	102,4	55,1	60,2
A09	68,50	-	SMA-S3	2010	19.10.2021	11.10.2021	99,1	52,7	59,5	101,5	54,2	61,0
A21	5,60	-	SMA-S1	2010	18.10.2021	14.10.2021	99,7	53,9	60,3	102,4	55,2	61,0
A22	25,15	-	Waschbeton	2006	13.10.2021	08.11.2021	100,9	52,8	59,4	103,9	54,8	60,9
S05	28,10	+	SMA-S1	2006	15.10.2021	18.10.2021	100,0	54,0	60,4	102,7	55,5	61,6
S33	19,80	+	SMA-S1	2006	15.10.2021	18.10.2021	100,4	54,7	60,3	103,0	56,2	61,9
B40	65,40	-	AC_deck_A3	2009	13.04.2022	20.04.2022	97,4	49,6	58,3	99,4	51,5	60,0