

DISSERTATION

# Akustische Bewertung von Fahrbahndeckschichten

Entwicklung eines Verfahrens zur akustischen Klassifizierung  
von lärmindernden Fahrbahndeckschichten

ausgeführt zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der technischen Wissenschaften

unter der Anleitung von  
Em.o.Univ.Prof.DI Dr.Dr.h.c. Johann Litzka

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Dipl.-Ing. Jürgen Haberl**

Matr. Nr.: E086610/9125051  
Maxingstraße 62/4  
A - 1130 Wien

Wien, am .....

Unterschrift: \_\_\_\_\_



# VORWORT

In der Richtlinie 89/106/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauproduktenrichtlinie) werden im Anhang I - Punkt 5 - Schallschutz - wesentliche Anforderungen an ein Bauwerk bzw. an ein Bauprodukt festgelegt:

» *Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass der von den Bewohnern oder von in der Nähe befindlichen Personen wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufriedenstellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.* «

Die vorliegende Arbeit soll eine Grundlage dazu liefern, diese von der Europäischen Union gestellten Anforderungen an Fahrbahndeckschichten mit Hilfe eines akustischen Bewertungssystems einerseits erfüllen und andererseits auch nachweisen zu können. Durch eine Vereinheitlichung der Beurteilung der Lärmemissionen verschiedener Fahrbahndeckschichttypen soll der Einsatz von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten als Lärmreduktionsmaßnahme im Straßenverkehr gefördert werden und somit einen bedeutenden Beitrag zu einer leiseren Umwelt liefern.

Ein herzlicher Dank gilt Herrn em.Univ.Prof.Dr. Johann Litzka, der mir als langjähriger Leiter des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien die Möglichkeit eröffnete, mich mit dem Thema des Lärmschutzes an Straßen intensiv zu beschäftigen. Nur durch die vielen, oftmals langen und intensiven, Gespräche und Diskussionen konnte diese Arbeit zu einem umfangreichen Werk heranwachsen.

Durch die Mitarbeit in mehreren internationalen und nationalen Forschungsprojekten wurde mein Interesse an der Wirkung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten weiter gestärkt. Die dabei entstandene Zusammenarbeit mit Herrn Univ.Prof.Dr. Ernst Pucher, der meinen Horizont dahingehend erweitert hat, die Problematik des Straßenverkehrslärms aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten, hat mich bestärkt, mich in dieser Thematik weiter zu vertiefen. Auch ihm gebührt ein besonderer Dank.

Besonders möchte ich mich bei meiner Frau Viktoria bedanken, die die Hoffnung einer Finalisierung dieser Arbeit nie aufgegeben hat. Nur durch Ihre ständige Unterstützung konnte ich diese Arbeit zu Ende bringen.

Wien, im März 2011

Jürgen Haberl

# KURZFASSUNG

## Akustische Bewertung von Fahrbahndeckschichten

Im Rahmen dieser Dissertation wurde ein Verfahren zur akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten entwickelt. Dieses Bewertungssystem stellt eine Grundlage für den effizienten Einsatz von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten auf unseren Straßen dar. Erst durch eine klare Einstufung des Lärm minderungspotenziales der eingesetzten Fahrbahndeckschichttypen können diese auch effizient als Lärm minderungsmaßnahme im Straßenbau angewandt werden.

Bei der akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten wird einer Fahrbahndeckschicht, die durch ihre Deckschichtrezeptur eindeutig charakterisiert ist, mit Hilfe von klar definierten Lärm messungen eine Lärm klasse zugeordnet, die das Lärm minderungspotenzial der zu bewertenden Fahrbahndeckschicht im Vergleich zu einer Referenzfahrbahndeckschicht beschreibt.

Das Verfahren gliedert sich in die drei zeitlich voneinander getrennten Abläufe der akustischen Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht (im Rahmen der Erstprüfung), der akustischen Qualitätskontrolle der bereits klassifizierten Fahrbahndeckschicht (im Rahmen der Abnahmeprüfung) und des akustischen Monitorings der klassifizierten Fahrbahndeckschicht über ihre Lebensdauer (im Rahmen von periodisch durchzuführenden Prüfungen).

Durch diese Vorgehensweise kann eine vollständige lärm emissionsbedingte Betrachtung der Fahrbahndeckschicht über ihre gesamte Liegedauer gewährleistet werden. Da lärm mindernde Fahrbahndeckschichten je nach Deckschichttyp und Bauweise (offenporige oder dichte Fahrbahndeckschichttypen) ein unterschiedliches akustisches Langzeitverhalten aufweisen, ist diese gesamtheitliche Betrachtung auch unbedingt notwendig.

In dieser Arbeit wird erstmals ein Ansatz einerseits zur Einbeziehung der exakten technologischen Beschreibung der einzustufenden Fahrbahndeckschicht und andererseits zur Berücksichtigung des akustischen Langzeitverhaltens von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten in ein akustisches Bewertungssystem entwickelt.

Ein eindeutig akustisch eingestuftes Produkt lässt sich auf dem Markt leichter als "lärm mindernd" platzieren, auch neue Deckschichtentwicklungen können somit einfacher durchzusetzen sein. Im Gegensatz dazu können die für die Straßenplanung Verantwortlichen auf genau definierte Fahrbahndeckschichten zurückgreifen und diese in ihrer Planung berücksichtigen. Ebenso kann dieses Bewertungssystem für eine effiziente Lärmschutzplanung mit entsprechenden Variantenuntersuchungen herangezogen werden und somit auch die Grundlage für verkehrspolitische Entscheidungen bilden.

# ABSTRACT

## **Acoustical classification of road surface courses**

In the context of this thesis a procedure for an acoustical evaluation of low noise road surfaces had been developed. This evaluation system provides a basis for the efficient use of low noise road surfaces on our road system. Only by clear classification of the noise reduction potential of the applied road surface courses an efficient use of these types of surfaces may be efficient.

Within the acoustical evaluation of low noise road surfaces an allocation of a certain road surface course, clearly characterized by the used mix-design, will be done using noise measurements.

The procedure is divided into three time dependent activities, the acoustical classification (in the context of the certification procedure), the acoustical acceptance testing of a classified road surface (in the context of the general acceptance testing) and the acoustical monitoring of a classified road surface regarding its lifetime (in the context of periodic tests).

This approach leads to a complete examination of the noise emission behavior of a certain road surface course over its entire lifetime. A comprehensive consideration is absolutely necessary because of the different long term behavior of different noise reducing surfaces regarding their type and construction (porous or dense surfaces).

For the first time an exact technological description of the materials used for a low noise road surface type to be classified will be integrated into an approach of an acoustical evaluation system. Furthermore the acoustic durability of a low noise road surface type will also be integrated in this evaluation procedure.

A clearly acoustically classified road surface product may be easier placed on the market as “low noise“, also new developments regarding low noise products can be easier enforced. In contrast, road authorities may apply clearly defined road surfaces regarding their noise emissions on their network and integrate these kind of surfaces in their planning processes. Similarly, this evaluation system may be consulted for efficient noise protection planning with corresponding comparisons of alternatives and therefore also be the basis for transport policy decisions.

# RÉSUMÉ

## Évaluation acoustique des revêtements de chaussée

Cette thèse a pour objet l'élaboration d'une méthode d'évaluation acoustique des revêtements antibruit. Ce système d'évaluation représente la base pour une utilisation efficace des revêtements antibruit sur nos routes. Seule une classification précise des types de revêtements utilisés en fonction de leur potentiel de réduction du bruit permet en effet leur utilisation efficace comme mesure antibruit lors de la construction de routes.

Un revêtement est clairement défini par sa composition. Dans le cadre de son évaluation acoustique, il est attribué, moyennant des mesures de bruit effectuées, à une classe de bruit. Celle-ci permet de déterminer le potentiel de diminution de bruit du revêtement évalué par rapport à un revêtement de référence.

Ce procédé se décline en trois opérations dissociées dans le temps, à savoir la classification acoustique du revêtement (dans le cadre du contrôle initial), le contrôle de qualité acoustique du revêtement classifié (dans le cadre du contrôle final) et le monitoring acoustique du revêtement classifié pendant sa durée de vie (dans le cadre de contrôles périodiques).

Cette façon de procéder garantit une prise en considération exhaustive du revêtement en termes d'émission de bruit sur toute sa durée de vie. Etant donné les différences de comportement à long terme des revêtements antibruit en fonction du type de couche de roulement et du type de construction (couche de roulement drainante ou étanche), une telle analyse globale s'avère indispensable.

Cet exposé développe pour la première fois une approche, permettant d'une part l'intégration d'une description technologique précise du revêtement à classer, d'autre part la prise en compte du comportement acoustique à long terme de revêtements antibruit à l'intérieur d'un système d'évaluation acoustique.

Un produit clairement identifié par sa classe acoustique est plus facile à placer sur le marché pour ses qualités de réduction du bruit. De nouvelles versions de couches de roulement s'imposeront ainsi plus facilement. En revanche, disposant des revêtements clairement définis, les responsables de la voirie sont en mesure de les intégrer efficacement dans leur planification. Finalement, ce système d'évaluation peut servir de référence pour l'examen de différentes versions dans le cadre de mesures contre le bruit, servant également de base pour la prise de décisions relatives à la politique des transports.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1	Allgemeines . . . . .	5
1.2	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Straßenverkehrslärm - Reifen-Rollgeräusch</b>	<b>9</b>
2.1	Akustische Grundlagen . . . . .	9
2.1.1	<i>Luftschall</i> . . . . .	9
2.1.2	<i>Bewertungsgrößen</i> . . . . .	11
2.1.3	<i>Pegelanalysen des Verkehrslärms</i> . . . . .	12
2.1.4	<i>Lärm und seine Wirkung auf den Menschen</i> . . . . .	14
2.2	Entstehungsmechanismen des Reifen-Fahrbahn-Geräusches . . . . .	16
2.2.1	<i>Grundlagen</i> . . . . .	16
2.2.2	<i>Mechanische Schallanregung des Reifens</i> . . . . .	17
2.2.3	<i>Aerodynamische Schallanregung des Reifens</i> . . . . .	18
2.2.4	<i>Schallabstrahlung und Horn-Effekt</i> . . . . .	18
2.3	Einflussfaktoren auf den Straßenverkehrslärm . . . . .	19
2.3.1	<i>Einflussfaktoren auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch</i> . . . . .	19
2.3.2	<i>Einflussfaktoren auf das Gesamtschallereignis</i> . . . . .	31
2.3.3	<i>Einflussfaktoren bei der Schallausbreitung</i> . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Möglichkeiten der Lärmreduktion im Straßenverkehr</b>	<b>40</b>
3.1	Grundlagen . . . . .	40
3.2	Primäre Lärmreduktionsmaßnahmen . . . . .	42
3.2.1	<i>Maßnahmen am Fahrzeug</i> . . . . .	42
3.2.2	<i>Maßnahmen am Reifen</i> . . . . .	43
3.2.3	<i>Maßnahmen an der Fahrbahndeckschicht</i> . . . . .	47
3.3	Sekundäre Lärmreduktionsmaßnahmen . . . . .	53
3.3.1	<i>Allgemeines</i> . . . . .	53
3.3.2	<i>Wirkungsweise einer Lärmschutzwand</i> . . . . .	54
3.3.3	<i>Beispiele für verschiedenartige Lärmschutzwandsysteme</i> . . . . .	55

3.3.4	<i>Innovative Lärmschutzwandsysteme</i> . . . . .	57
3.3.5	<i>Lärmschutzwälle</i> . . . . .	58
3.3.6	<i>Einhausungen</i> . . . . .	59
3.3.7	<i>Lärmschutzfenster</i> . . . . .	60
3.3.8	<i>Individueller Lärmschutz am Grundstück</i> . . . . .	61
3.4	<b>Verkehrsmanagementmaßnahmen</b> . . . . .	61
3.4.1	<i>Allgemeines</i> . . . . .	61
3.4.2	<i>Entwurfstechnische Maßnahmen</i> . . . . .	62
3.4.3	<i>Verkehrsorganisatorische Maßnahmen</i> . . . . .	64
<b>4</b>	<b>Messmethoden zur Erfassung des Straßenverkehrslärms</b>	<b>67</b>
4.1	Grundlagen . . . . .	67
4.2	Messung des Rollgeräusches . . . . .	67
4.2.1	<i>Rollgeräuschemessung gem. RVS 11.06.64</i> . . . . .	69
4.2.2	<i>Rollgeräuschemessung gem. ISO/CD 11819-2</i> . . . . .	72
4.3	Messung des Vorbeifahrgeräusches . . . . .	75
4.4	Weitere Messmethoden, die zur Abschätzung des Geräuschpegels herangezogen werden können . . . . .	79
4.4.1	<i>Messung des Drainverhaltens</i> . . . . .	79
4.4.2	<i>Absorptionsmessung</i> . . . . .	82
4.4.3	<i>Texturmessung</i> . . . . .	84
<b>5</b>	<b>Lärmindernde Deckschichttypen im Straßenbau</b>	<b>85</b>
5.1	Grundlagen . . . . .	85
5.1.1	<i>Definition einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht</i> . . . . .	85
5.1.2	<i>Definition einer Referenzfahrbahndeckschicht</i> . . . . .	86
5.2	Materialtechnische Beschreibung der in Österreich standardmäßig eingesetzten lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen . . . . .	87
5.2.1	<i>Allgemeines</i> . . . . .	87
5.2.2	<i>Stand der Normung in Österreich</i> . . . . .	88
5.2.3	<i>Lärmindernde Fahrbahndeckschichttypen in Österreich</i> . . . . .	92
5.3	Beschreibung der Referenzfahrbahndeckschicht . . . . .	94
5.3.1	<i>Splittmastixasphalt - Bauweise</i> . . . . .	94
5.3.2	<i>Splittmastixasphalt - Anforderungen bei der Erstprüfung</i> . . . . .	95
5.3.3	<i>Splittmastixasphalt - Anforderungen bei der Abnahmeprüfung</i> . . . . .	98
5.3.4	<i>Splittmastixasphalt - Gewährleistung</i> . . . . .	100
5.3.5	<i>Splittmastixasphalt - Betrachtung der Lärmemissionen</i> . . . . .	100

5.4	Beschreibung der Fahrbahndeckschicht Asphaltbeton . . . . .	105
5.4.1	<i>Asphaltbeton - Bauweise</i> . . . . .	105
5.4.2	<i>Asphaltbeton - Anforderungen bei der Erstprüfung</i> . . . . .	106
5.4.3	<i>Asphaltbeton - Anforderungen bei der Abnahmeprüfung</i> . . . . .	109
5.4.4	<i>Asphaltbeton - Gewährleistung</i> . . . . .	111
5.4.5	<i>Asphaltbeton - Betrachtung des Lärmemissionsverhaltens</i> . . . . .	111
5.5	Lärmmindernde Fahrbahndeckschichten - Asphaltbauweisen . . . . .	114
5.5.1	<i>Offenporiger Asphalt</i> . . . . .	114
5.5.2	<i>Lärmmindernder Splittmastixasphalt</i> . . . . .	130
5.5.3	<i>Lärmmindernde Dünnschichtdecke</i> . . . . .	140
5.6	Lärmmindernde Fahrbahndeckschichten - Betonbauweisen . . . . .	148
5.6.1	<i>Allgemeines</i> . . . . .	148
5.6.2	<i>Waschbeton</i> . . . . .	148
5.6.3	<i>Oberflächenbehandlung auf Beton</i> . . . . .	156
5.7	Lärmminderungspotenzial von lärmmindernden Fahrbahndeckschichttypen	157
<b>6</b>	<b>Grundlagen eines Verfahrensablaufes für eine akustische Bewertung von Fahrbahndeckschichten</b>	<b>162</b>
6.1	Grundlegende Überlegungen . . . . .	162
6.1.1	<i>Allgemeines</i> . . . . .	162
6.1.2	<i>Theorie der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	163
6.1.3	<i>Vorteile einer akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	165
6.2	Anforderungen an ein System zur akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten . . . . .	165
6.2.1	<i>Generelle Anforderungen an ein akustisches Bewertungssystem</i> . . . . .	165
6.2.2	<i>Spezifische Anforderungen an eine akustische Bewertung von lärmmindernden Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	166
6.3	System einer akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten im EU-Projekt SILVIA . . . . .	168
6.3.1	<i>Allgemeines</i> . . . . .	168
6.3.2	<i>Labelling-Prozedur im SILVIA-Bewertungssystem</i> . . . . .	170
6.3.3	<i>Akustische Qualitätskontrolle im SILVIA-Bewertungssystem</i> . . . . .	179
6.4	Akustische Bewertungssysteme von Fahrbahndeckschichten in Europa . . .	184
6.4.1	<i>Allgemeines</i> . . . . .	184
6.4.2	<i>Akustische Bewertung lärmmindernder Fahrbahndeckschichten in Großbritannien</i> . . . . .	185
6.4.3	<i>Akustische Bewertung lärmmindernder Fahrbahndeckschichten in den Niederlanden</i> . . . . .	188

6.4.4	<i>Akustische Bewertung lärmindernder Fahrbahndeckschichten in Dänemark</i>	191
6.5	Gesamtheitliche Analyse bestehender Systeme zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten . . . . .	195
<b>7</b>	<b>Verfahren zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten</b>	<b>197</b>
7.1	Grundlagen eines akustischen Bewertungssystems für die Anwendung in Österreich . . . . .	197
7.2	Entwicklung eines akustischen Bewertungssystems . . . . .	198
7.2.1	<i>Definition der Referenzfahrbahndeckschicht</i> . . . . .	198
7.2.2	<i>Modellbildung für das akustische Bewertungssystem</i> . . . . .	199
7.3	Akustische Klassifizierung . . . . .	204
7.3.1	<i>Modell der akustischen Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	204
7.3.2	<i>Ablauf der akustischen Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht</i> . . . . .	205
7.4	Akustische Qualitätskontrolle . . . . .	212
7.4.1	<i>Modell der akustischen Qualitätskontrolle von Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	212
7.4.2	<i>Ablauf der akustischen Qualitätskontrolle einer Fahrbahndeckschicht</i> . . . . .	214
7.5	Betrachtung des Alterungsverhaltens . . . . .	218
7.5.1	<i>Modell des akustischen Monitorings von Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	218
7.5.2	<i>Ablauf des akustischen Monitorings einer Fahrbahndeckschicht</i> . . . . .	223
7.6	Formular der akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten . . . . .	229
<b>8</b>	<b>Akustische Bewertung der gängigen österreichischen Fahrbahndeckschichttypen</b>	<b>234</b>
8.1	Betrachtete Fahrbahndeckschichttypen . . . . .	234
8.2	Beispiele einer akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten . . . . .	235
8.2.1	<i>Allgemeines</i> . . . . .	235
8.2.2	<i>Akustische Bewertung der Fahrbahndeckschicht Asphaltbeton</i> . . . . .	236
8.2.3	<i>Akustische Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	238
8.2.4	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse der akustischen Bewertung der untersuchten lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen</i> . . . . .	247
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>250</b>
9.1	Zusammenfassende Analyse . . . . .	250
9.2	Mögliche Weiterentwicklung . . . . .	255

## 1. KAPITEL

# EINLEITUNG

## 1.1 Allgemeines

Der Straßenverkehrslärm entwickelt sich immer mehr zu einem dominierenden Umweltproblem. Durch das ständig steigende Verkehrsaufkommen auf den europäischen Straßen und die damit verbundene wachsende Lärmbelästigung der im Straßennahbereich lebenden Menschen wird die Frage nach wirkungsvollen Methoden einer spezifischen Lärmreduzierung immer deutlicher gestellt.

Straßenverkehrslärm entsteht einerseits beim Abrollen des Reifens auf der Fahrbahn und andererseits durch die Motorisierung der vorbeifahrenden Fahrzeuge. Er ist hauptsächlich vom Antrieb des Fahrzeuges, von der gefahrenen Geschwindigkeit, vom Reifentyp des Fahrzeuges, von der Art der Fahrbahndeckschicht und von deren Oberflächenbeschaffenheit abhängig. Verminderungen der Gesamtemissionen im Straßenverkehr bei Betrachtung des Gesamtsystems Fahrzeug – Reifen – Fahrbahndeckschicht sind deshalb durch technische Entwicklungen im Fahrzeugbau, durch den Einsatz spezieller Reifentypen und/oder durch die Verwendung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten möglich.

Eine effektive Herabsetzung des Verkehrslärms kann nur durch die Betrachtung all dieser Schallquellen und durch deren Zusammenspiel und gegenseitigen Beeinflussung erreicht werden. Bisherige Lärmschutzmaßnahmen im hochrangigen Straßennetz umfassten größtenteils den Bau von Lärmschutzwänden bzw. -dämmen. Es erscheint aber sinnvoll, bei der Reduzierung des Straßenverkehrslärms auch direkt an der Quelle des Lärms anzusetzen. Ein wesentlicher Beitrag dazu wurde durch die Entwicklung von so genannten lärm mindernden Fahrbahndeckschichten, wie zum Beispiel offenporige Asphaltdeckschichten, Waschbetondecken, lärm mindernde Dünnschichtdecken oder lärm mindernde Splittmastixasphalte erreicht. Weitere Fahrbahndeckschichtentwicklungen, wie zum Beispiel zweilagige offenporige Asphaltdeckschichten, wurden in den letzten Jahren versuchsweise im europäischen Straßennetz (zum Beispiel in den Niederlanden, in Dänemark, in der Schweiz, in Deutschland und in Österreich) größtenteils zuerst auf Versuchsstrecken eingesetzt und in Bezug auf deren Lärmverhalten untersucht.

All diese lärm mindernden Fahrbahndeckschichttypen werden, ebenso wie die konventionellen Fahrbahndeckschichten Asphaltbeton und Splittmastixasphalt, in der vorliegenden Arbeit betrachtet und einer lärmtechnischen Bewertung bzw. Klassifizierung unterzogen.

## 1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Verfahrensablauf einer akustischen Bewertung von in Österreich eingesetzten Fahrbahndeckschichten zu entwickeln. Bei dieser Bewertung wird speziell auf eine exakte technologische Definition der einzustufenden Fahrbahndeckschichten großer Wert gelegt, um daraus Schlüsse auf das Lärmverhalten dieser Fahrbahndeckschichten ziehen zu können.

Als eindeutigen Vorteil eines Bewertungssystems für verschiedene Fahrbahndeckschichttypen kann die Vereinheitlichung der Beurteilung der Lärmemission dieser Fahrbahndeckschichten genannt werden. Durch ein definiertes Bewertungssystem lässt sich somit eine lärmtechnische Einteilung der heutzutage angewandten Fahrbahndeckschichttypen erreichen. Nutznießer eines solchen Systems können sowohl ausführende Firmen als auch Auftraggeber und politische Entscheidungsträger sein. Ein eindeutig akustisch eingestuftes Produkt lässt sich auf dem Markt leichter als "lärm mindernd" platzieren, auch neue Entwicklungen und Mischgutzusammensetzungen können somit einfacher durchzusetzen sein. Im Gegensatz dazu können die für die Straßenplanung Verantwortlichen auf genau definierte Fahrbahndeckschichten zurückgreifen und diese in ihrer Planung berücksichtigen. Ebenso kann dieses Bewertungssystem für eine effiziente Lärmschutzplanung mit entsprechenden Variantenuntersuchungen herangezogen werden und somit auch die Grundlage für verkehrspolitische Entscheidungen bilden.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei große Teile. Der erste Teil stellt den Stand des Wissens bezüglich Lärmstehung, Lärmmessung und möglicher Lärmschutzmaßnahmen zusammen. In diesem Sinne werden zunächst im Grundlagenteil (Abschnitt 2) die verschiedenen Einflussfaktoren auf den Straßenverkehrslärm (auf das Gesamtschallereignis bzw. auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch) und auf die Schallausbreitung erarbeitet und erläutert. Aus der Gesamtheit all dieser Parameter lassen sich die verschiedenen Möglichkeiten der Lärmreduktion im Straßenverkehr ableiten (Abschnitt 3). Hierzu zählen vor allem aktive Lärmschutzmaßnahmen direkt an der Schallquelle, wie Maßnahmen am Fahrzeug, an den Reifen und an den Fahrbahndeckschichten, wie auch passive Maßnahmen, wie zum Beispiel Lärmschutzwände und -wälle, Lärmschutzfenster oder auch Verkehrsmanagementmaßnahmen. Besonderes Augenmerk bei den Lärm minderungsmaßnahmen wird dabei auf die Wirkung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten gelegt.

In Abschnitt 4 wird auf die heutzutage gängigen Lärmmessmethoden zur Erfassung des Straßenverkehrslärms eingegangen, die schließlich einen wichtigen Bestandteil des zu entwickelnden Bewertungssystems darstellen. Hier werden vor allem die Messung des Rollgeräusches sowie die des Vorbeifahrtgeräusches erläutert. Der Vollständigkeit halber sollen schließlich auch Messmethoden, die zur Abschätzung des Geräuschpegels herangezogen werden können, beschrieben werden. Dabei handelt es sich um die Messung der Schallabsorption, der Oberflächentextur und des Drainverhaltens von Fahrbahndeckschichten.

Abgerundet wird der erste Teil der Arbeit durch eine detaillierte technologische Beschreibung der heutzutage in Österreich eingesetzten gängigen lärm mindernden Fahrbahndeckschichttypen (Abschnitt 5).

Im zweiten Teil der Dissertation wird schließlich das akustische Bewertungssystem von Fahrbahndeckschichten in den Abschnitten 6 und 7 entwickelt und in Abschnitt 8 für die in Österreich am häufigsten verwendeten lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen angewandt.

Eine wichtige Grundlage für den Verfahrensablauf des akustischen Bewertungssystems stellt das im Rahmen des EU-Projektes SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control) [1], an dem 2 Institute der Technischen Universität Wien, das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung und das Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, beteiligt waren, erarbeitete Verfahren zur Klassifizierung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten dar. Weitere Grundlagen werden durch eine vergleichende Beurteilung der bereits in Europa existierenden Bewertungssysteme für lärmindernde Fahrbahndeckschichten geschaffen.

In der vorliegenden Arbeit werden all diese Verfahren zunächst genau analysiert und schließlich an österreichische Verhältnisse angepasst. Diese Adaptierung erfolgt einerseits im Hinblick auf die zu klassifizierenden Fahrbahndeckschichten und andererseits im Sinne einer einfachen Durchführbarkeit des Systems.

Das aus diesen Grundlagen entwickelte Verfahren zur akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten enthält in einem ersten Schritt eine Vorgehensweise zu einer lärmemissionsbedingten Einstufung bzw. Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht im Rahmen einer "akustischen Erstprüfung", die mit Hilfe von Lärmmessungen in einem Feldversuch durchgeführt wird. Diese "akustische Erstprüfung" lässt sich direkt in die standardmäßig durchgeführte Erstprüfung einer neu entwickelten Deckschichtrezeptur integrieren.

In einem zweiten Schritt wird eine Vorgehensweise der Abnahmeprüfung nach Deckschichtlegung im Rahmen einer akustischen Qualitätskontrolle entwickelt, bei der jene materialtechnischen Parameter zu überprüfen sind, die größtenteils für die Entstehung der Lärmemissionen aus dem Straßenverkehr verantwortlich zeigen. Diese Überprüfung ist direkt nach Deckschichtlegung durchzuführen und ersetzt im Falle eines positiven Ausgangs die Anwendung von Lärmmessungen zum Nachweis der Lärmemissionswerte der überprüften Fahrbahndeckschicht.

Verschiedene Fahrbahndeckschichttypen zeigen ein unterschiedliches Alterungsverhalten im Laufe ihrer akustischen Lebensdauer<sup>(a)</sup>. So weisen zum Beispiel Waschbetondecken durch ein über ihre Lebensdauer ungefähr konstant anhaltendes Lärminderungsverhalten eine komplett andere akustische Lebensdauer auf als offenporige Asphaltdeckschichten, die das im Neuzustand vorhandene hohe Lärminderungspotenzial im Laufe der Zeit etwas einbüßen. Diese unterschiedlichen Verhaltensmuster dürfen in einem funktionierenden akustischen Bewertungssystem für lärmindernde Fahrbahndeckschichten ebenfalls nicht fehlen. In dieser Arbeit wird erstmals ein Ansatz zur Einbeziehung dieses akustischen Langzeitverhaltens von lärmindernden Fahrbahndeckschichten in ein akustisches Bewertungssystem entwickelt.

---

<sup>a</sup>Bei der Betrachtung des Alterungsverhaltens von Fahrbahndeckschichten ist immer zwischen einer strukturellen und einer akustischen Lebensdauer zu unterscheiden. Es kann durchaus vorkommen, dass eine Fahrbahndeckschicht ihr Lärminderungsvermögen bereits verloren hat, strukturell aber keinerlei Bedenken für einen weiteren Einsatz bestehen. Ebenso existiert aber auch der umgekehrte Fall.

Als Datengrundlage für die Entwicklung des Modells zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten wird eine im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Datenbank herangezogen, in der eine Vielzahl von Messergebnissen aus Vorbeifahrt- und Rollgeräuschkmessungen zusammengetragen wurden, die an den in Österreich üblichen lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen durchgeführt worden sind. In der Datenbank sind ebenso Messkampagnen aus aktuellen europäischen Forschungsprojekten gespeichert, deren Ergebnisse gegebenenfalls ebenso in die Analysen mit einfließen.

Schließlich wird das entwickelte Bewertungssystem aufgrund der vorhandenen Lärmmessergebnisse und der technischen Vorgaben aus den zugehörigen Normen und Richtlinien auf die zurzeit in Österreich üblicherweise verwendeten Fahrbahndeckschichten angewandt. Im ersten Schritt wird dabei das Augenmerk auf eine akustische Klassifizierung für Fahrbahndeckschichten mit geringem Deckschichtalter gelegt. Der Einfluss des Deckschichtalters (und somit eine vollständige akustische Bewertung der Fahrbahndeckschicht) wird in einer vorsichtigen Abschätzung zusätzlich angegeben.

## 2. KAPITEL

STRASSENVERKEHRSLÄRM -  
REIFEN-ROLLGERÄUSCH

## 2.1 Akustische Grundlagen

## 2.1.1 Luftschall

Luftschall wird durch Schwankungen der Luftdichte hervorgerufen, wobei sich dadurch sowohl Über- als auch Unterdruck bildet, der sich örtlich und zeitlich auszugleichen versucht [2]. Diese Schwankungen können durch Anregung fester Körper zu Schwingungen entstehen, der dabei resultierende Körperschall wird schließlich auf die Luft übertragen und pflanzt sich durch den Kontakt der Luftteilchen fort (siehe Abbildung 2.1).

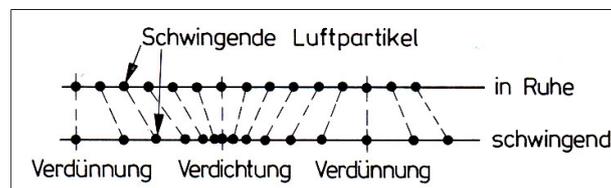


Abbildung 2.1: Schallausbreitung in der Luft [2]

Die Anzahl der Druckänderungen pro Sekunde, die so genannte Frequenz des Schalls ( $f$ ), wird in Hertz [Hz] gemessen. Mit Hilfe der Schallgeschwindigkeit  $c$  [m/s] lässt sich dann die Wellenlänge  $\lambda$  [m] folgendermaßen berechnen:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

In der Akustik werden diese bei der Ausbreitung des Schalls auftretenden Druckänderungen als Schalldruck bezeichnet, der nicht direkt, sondern über einen Pegelwert in [dB] angegeben wird. Definitionsgemäß versteht man unter dem Schalldruckpegel  $SPL$  (Sound Pressure Level) einen logarithmischen Verhältniswert zwischen der mittleren Amplitude des gemessenen Schalldruckes  $p$  bezogen auf einen Bezugsschalldruck  $p_0$ .

$$SPL = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (2.2)$$

Der Bezugsschalldruck  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$  entspricht dem Schalldruck eines Sinustons mit einer Frequenz von 1000 Hz, den das menschliche Gehör gerade noch wahrnehmen kann (Hörschwelle). Aufgrund der logarithmischen Skalierung des Schallpegels können einzelne

Schallpegel nicht einfach arithmetisch addiert, sondern sie müssen energetisch zusammengefasst werden. Allgemein gilt für die Berechnung des gesamten Schalldruckpegels  $L_{p,ges}$ , der von mehreren Schallquellen mit den Einzelschalldruckpegeln  $L_i (= SPL)$  verursacht wird, folgender Zusammenhang:

$$L_{p,ges} = 10 \cdot \lg \left( \sum_i 10^{L_i/10} \right) \quad (2.3)$$

Sind mehrere gleich große Schallpegel zu addieren, so bewirkt die Verdoppelung der Anzahl gleich lauter Schallquellen eine Erhöhung des Gesamtschallpegels um 3 dB, eine Verzehnfachung der Zahl der Schallquellen erhöht den Schallpegel schließlich um 10 dB (siehe Abbildung 2.2).

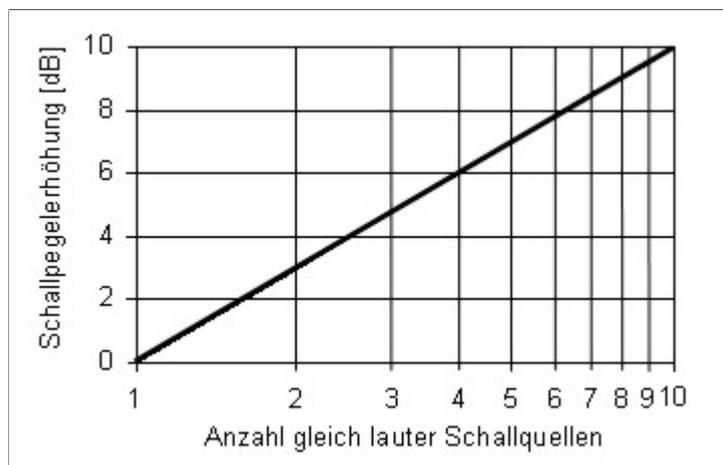


Abbildung 2.2: Summenpegel mehrerer gleich lauter Schallquellen [3]

Allgemein lässt sich die Pegeladdition von mehreren Schallquellen mit unterschiedlichen Schallpegeln durch eine schrittweise Addition von jeweils zwei Schallpegeln mit Hilfe ihrer Pegeldifferenz gemäß Abbildung 2.3 durchführen.

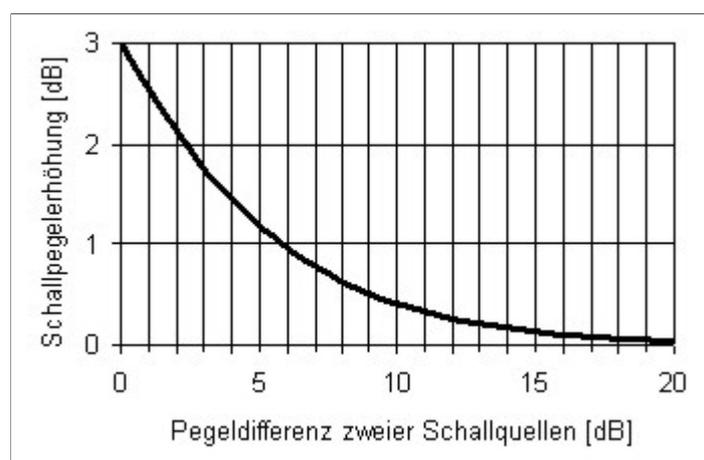


Abbildung 2.3: Summenpegel zweier Schallquellen [3]

Bei Pegelunterschieden ab ca. 10 dB und mehr ist somit der Gesamtschallpegel gleich der lauterer Schallquelle. Aus dieser rein physikalischen Tatsache ist abzuleiten, dass Lärminderungsmaßnahmen nur beim maßgebenden Geräusch, sprich beim höheren Pegelwert, sinnvoll sind. Nur in jenem Fall, in dem alle Geräuschkomponenten etwa den gleichen Anteil am Gesamtgeräusch besitzen, sind auch alle Komponenten zu vermindern.

### 2.1.2 Bewertungsgrößen

Zwei Töne mit gleichem Schalldruckpegel, aber unterschiedlicher Frequenz, werden vom menschlichen Gehör nicht als gleich laut empfunden. Zur Berücksichtigung dieser Frequenzabhängigkeit wird der so genannte Lautstärkepegel eingeführt. Als Lautstärkepegel, in [Phon] angegeben, wird derjenige Pegel eines 1.000 Hz-Tones bezeichnet, der bei frontalem Einfall als ebene Welle bei der Versuchsperson die gleiche Lautstärkeempfindung hervorruft, wie der zu messende Schall [4]. Der Hörbereich des menschlichen Ohres reicht, wie in Abbildung 2.4 gezeigt, von ca. 0 dB (Hörschwelle) bis ca. 120 dB (Schmerzschwelle).

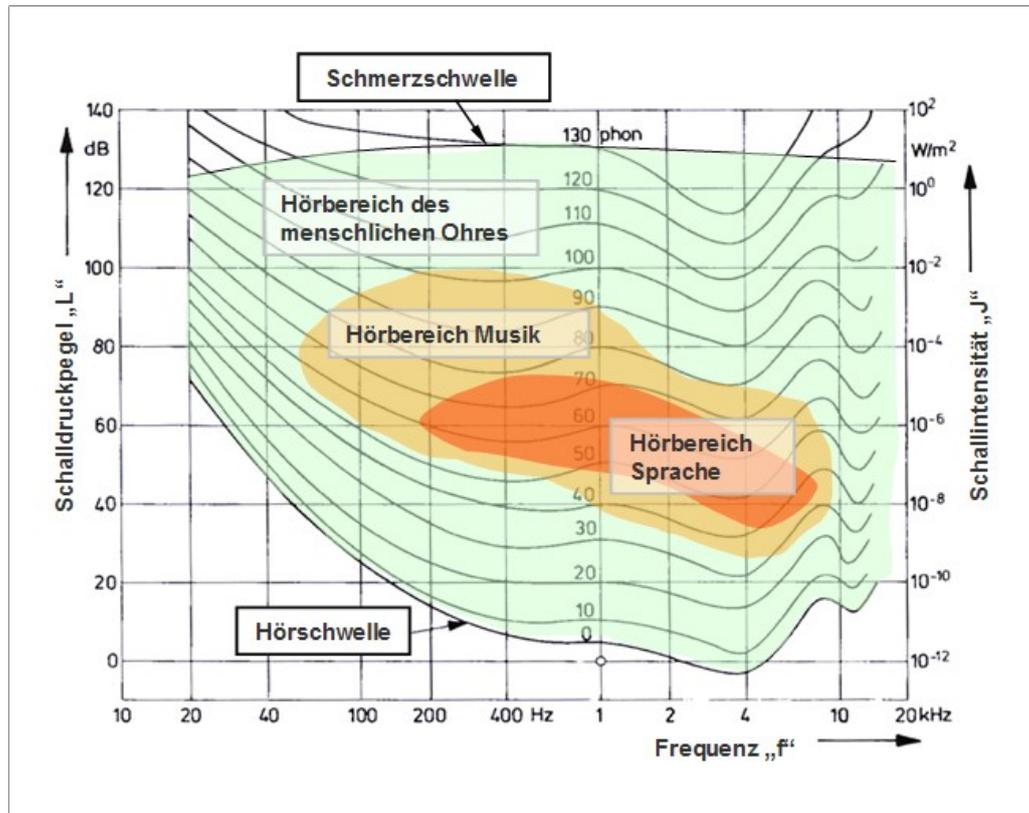


Abbildung 2.4: Kurven gleicher Lautstärke im freien Schallfeld (nach [5])

Das menschliche Gehör besitzt bei niedrigeren und bei höheren Frequenzen eine geringere Empfindlichkeit als bei Frequenzen zwischen 500 Hz und 5000 Hz, wobei die höchste Empfindlichkeit etwa bei 4000 Hz (= 4 kHz) liegt. Diese von der Frequenz, aber auch von der Intensität und der Zeitdauer, abhängige Hörempfindung des menschlichen Ohres wird für die praktische Anwendung mit ausreichender Genauigkeit durch Bewertungskurven berücksichtigt, die dem gemessenen frequenzabhängigen Schallpegel überlagert werden und in Abbildung 2.5 dargestellt sind.

Für Verkehrslärmanalysen wird in der Praxis der Bewertungsfilter "A" angewandt. Der somit bewertete Schalldruckpegel (in [dB(A)] angegeben) beruht schließlich auf der physikalischen Größe des Schalldruckes  $p$ , berücksichtigt aber auch gewisse Eigenschaften des menschlichen Ohres [4].

Im Folgenden werden in dieser Arbeit Schalldruckpegel immer als bewertete Größe in "dB(A)" angegeben.

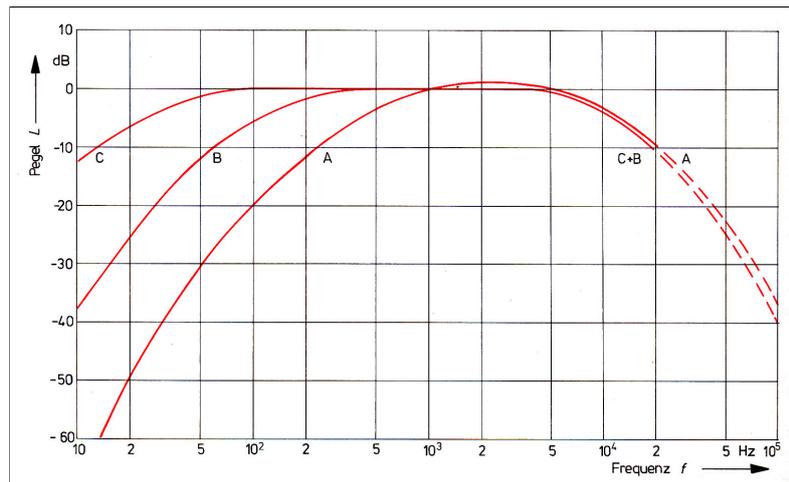


Abbildung 2.5: International festgelegte Frequenzbewertungskurven [2]

### 2.1.3 Pegelanalysen des Verkehrslärms

Beim Verkehrslärm handelt es sich, wie auch bei anderen Lärmbelastungen, um Geräuschemissionen mit zeitlich veränderlichen Schallpegelwerten. Abbildung 2.6 zeigt ein Beispiel für den Schallpegelverlauf mehrerer Vorbeifahrten an einer Bezugsstelle bzw. das Detail eines Einzelereignisses.

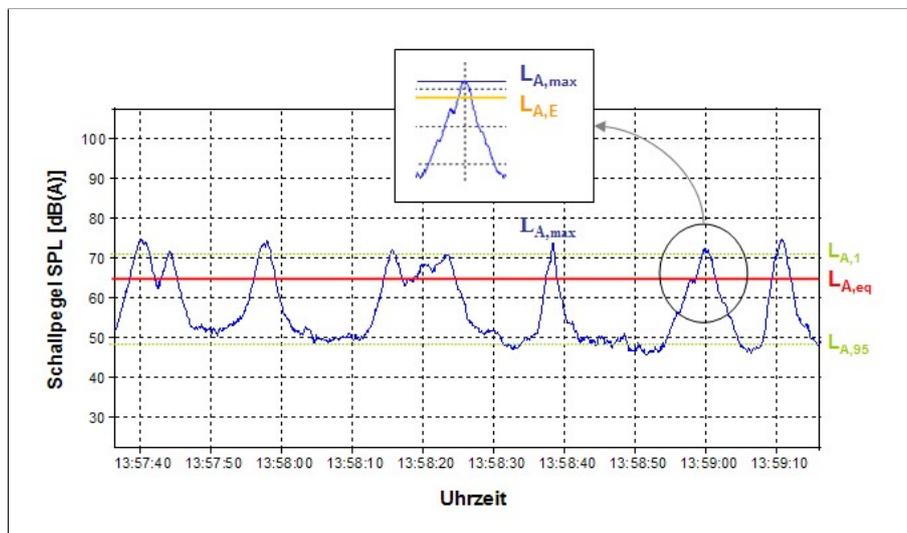


Abbildung 2.6: Schallpegelverlauf mehrerer Pkw-Vorbeifahrten an einer Bezugsstelle (nach [3])

mit:

$L_{A,eq}$	.....	A- bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel
$L_{A,1}$	.....	A- bewerteter mittlerer Spitzenpegel
$L_{A,95}$	.....	A- bewerteter Basispegel
$L_{A,max}$	.....	A- bewerteter maximaler Vorbeifahrtpegel
$L_{A,E}$	.....	A- bewerteter Schallereignispegel

Um das gesamte, während einer bestimmten Zeitspanne stattfindende, Schallereignis zu beschreiben, wird die Vielzahl der durch die Vorbeifahrten anfallenden Pegelwerte durch

energetische Mittelung zu einem so genannten energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{eq}$  zusammengefasst. Der  $L_{eq}$  ist dann derjenige Schallpegel, der den gleichen Energieinhalt aufweisen würde wie das Ereignis mit schwankendem Schallpegel und gleicher Dauer. Er lässt sich durch Integration der gemessenen Schalldruckpegel über die Bezugszeit (diejenige Zeitspanne, über die die Lärmessung ausgewertet werden soll) aus der folgenden Formel errechnen:

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{T_2 - T_1} \cdot \int_{T_1}^{T_2} 10^{L_A(t)/10} dt \right] \quad (2.4)$$

mit:

$L_{eq}$	.....	energieäquivalenter Dauerschallpegel
$T_1$	.....	Beginnzeit des Schallereignisses
$T_2$	.....	Ende des Schallereignisses
$L_A(t)$	.....	gemessener Schalldruckpegel zur Zeit $t$

Eine weitere wichtige Größe zur Beurteilung von Geräuschemissionen ist der so genannte Grundgeräuschpegel  $L_{A,Gg}$ . In der österreichischen Norm ÖNORMS 5001-3 [6] wird der Grundgeräuschpegel als “der geringste an einem Ort während eines bestimmten Zeitraumes gemessene A-bewertete Schalldruckpegel in dB(A)” bezeichnet, der “durch entfernte Geräusche verursacht wird, und bei dessen Einwirkung Ruhe empfunden wird.“ Da es in der Praxis oft nicht möglich ist, den Grundgeräuschpegel direkt zu messen - dafür wäre die Abschaltung aller Fremdgeräuschquellen notwendig - ist in der ÖNORMS 5004 [7] vorgesehen, den Basispegel  $L_{A,95}$  als Grundgeräuschpegel anzusetzen. Dieser ist “der in 95% der Messzeit überschrittene A-bewertete Schalldruckpegel der Schallpegelhäufigkeitsverteilung.“ Als mittlerer Spitzenpegel  $L_{A,1}$  hingegen wird jener A-bewertete Schalldruckpegel bezeichnet, der in 1% der Messzeit überschritten wird. Mit diesen drei in Abbildung 2.6 gezeigten energieäquivalenten Pegelwerten lässt sich ein über eine gewisse Zeit andauerndes Schallereignis in eindeutiger Art und Weise beschreiben.

Die Beurteilung von einzelnen Schallereignissen des Straßenverkehrs geschieht in der Regel entweder durch den so genannten Schallereignispegel  $L_E$ , auch *SEL* - Sound Exposure Level - genannt, oder durch den maximalen Vorbeifahrtpegel  $L_{max}$ . Der Schallereignispegel ist derjenige Pegelwert, der bei 1 Sekunde Dauer den gleichen Energieinhalt wie das über diesen Zeitverlauf schwankende Schallereignis aufweist (siehe auch Detaildarstellung in Abbildung 2.6).

$$L_E = 10 \cdot \lg \left[ \frac{T_m}{T_0} \cdot \int_0^{T_m} 10^{L_A(t)/10} dt \right] = L_{eq} + 10 \cdot \lg \left( \frac{T_m}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

mit:

$L_E$	.....	Schallereignispegel (einer einzelnen Vorbeifahrt)
$T_0$	.....	Begzugszeit (1 sec.)
$T_m$	.....	Mittelungszeit der Vorbeifahrt
$L_A(t)$	.....	gemessener Schalldruckpegel zur Zeit $t$
$L_{eq}$	.....	energieäquivalenter Dauerschallpegel über die Zeit $T_m$

Er stellt somit den energieäquivalenten Dauerschallpegel einer einzelnen Vorbeifahrt dar. Der maximale Vorbeifahrtpegel  $L_{max}$  hingegen, der bei der Vorbeifahrt eines Fahrzeugs an einem Immissionsort verursacht wird, ist als der maximale Pegelwert einer Vorbeifahrt definiert.

$$L_{max} = \max(SPL_{Vorbeifahrt}) \quad (2.6)$$

In der europäischen Richtlinie 2002/49/EC zur Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm [8] werden zur Erfassung des Straßenverkehrslärms sowohl ein 24-Stunden-Index  $L_{den}$  (Tag-Abend-Nacht-Pegel, day-evening-night-level) als auch ein Nacht-Index  $L_{night}$  (Nacht-Pegel) vorgeschlagen. Der  $L_{den}$  teilt die 24 Stunden eines Tages in die drei Phasen Tag (day) = 12 h, Abend (evening) = 4 h und Nacht (night) = 8 h auf. Der so genannte Lärmbelastungsindex basiert dabei auf dem energieäquivalenten Dauerschallpegel, wobei die Abendstunden mit einem Malus von 5 dB(A) und die Nachtstunden mit einem solchen von 10 dB(A) belastet werden. Die Pegelwerte  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  und  $L_{night}$  sind dabei die A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel, bestimmt über einen Beurteilungszeitraum von einem Jahr.

$$L_{den} = 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{24}\right) \cdot \left(12 \cdot 10^{L_{day}/10} + 4 \cdot 10^{(5+L_{evening})/10} + 8 \cdot 10^{(10+L_{night})/10}\right) \quad (2.7)$$

Die Richtlinie 2002/49/EC gewährt den Mitgliedsstaaten der EU bei der Wahl des Zeitpunktes für den Tagesanfang (und damit auch für den Anfang des Abends und der Nacht) freie Wahl. Ebenfalls können auch die zuvor angegebenen Zeiträume noch geringfügig verändert werden. In Österreich werden in den Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, kurz RVS, folgende Beurteilungszeiträume als Grundlage zur Lärmausbreitungsberechnung angegeben (siehe [9]):

Tag:	06 bis 19 Uhr
Abend:	19 bis 22 Uhr
Nacht:	22 bis 06 Uhr

Dadurch gilt in Österreich als Grundlage der Lärmberechnung aus dem Straßenverkehr eine Tageslänge von 13 Stunden, der Abend hat 3 Stunden und die Nacht 8 Stunden. Durch Anwendung dieser Zeitangaben auf die Formel (2.7) ergibt sich folgende abgeänderte Berechnung für den  $L_{den}$ :

$$L_{den} = 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{24}\right) \cdot \left(13 \cdot 10^{L_{day}/10} + 3 \cdot 10^{(5+L_{evening})/10} + 8 \cdot 10^{(10+L_{night})/10}\right) \quad (2.8)$$

Dieser energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{den}$  wird in Österreich als Grundlage zur Beurteilung des Straßenverkehrslärms herangezogen.

#### 2.1.4 Lärm und seine Wirkung auf den Menschen

Für den Ausdruck ‐Lärm‐ gibt es keine eindeutige Definition. In der ÖNORMS 5004 [7] wird Lärm als ‐unerwünschter, störender oder belästigender Schall‐ definiert. Die

Enzyklopädie »Wikipedia« beschreibt Lärm in der folgenden Art und Weise: *“Als Lärm (von frühneuhochdeutsch: larman = Geschrei; auch Krach) werden Geräusche (Schalle) bezeichnet, die durch ihre Lautstärke und Struktur für den Menschen und die Umwelt gesundheitsschädigend oder störend bzw. belastend wirken. Dabei hängt es von der Verfassung, den Vorlieben und der Stimmung eines Menschen ab, ob Geräusche als Lärm wahrgenommen werden.“* Lärm ist also eine subjektiv empfundene Größe, die in unserem Kopf entsteht, wenn wir ein Geräusch als unangenehm und/oder störend empfinden. Für jeden Menschen ist Lärm etwas anderes. Dasselbe gilt auch für den Verkehrslärm, ist das Motorgeräusch für den Fahrzeugfreak ein Ohrenschaus, so empfindet es der sich entspannen wollende Anrainer als unerträglich.

Eines ist aber sicher, Lärm kann eine vielfältige Wirkung auf den Menschen haben. Neben der Störung von Ruhe und Erholung stehen Beeinträchtigungen von Konzentration und Kommunikation an vorderster Stelle. Der Versuch, trotz gestörter Konzentration eine beabsichtigte Leistung zu erbringen, führt oft zu einer vorzeitigen Ermüdung (siehe auch [10]). Aber auch direkte Auswirkungen auf die Gesundheit sind auf ständige Lärmbelastungen zurückzuführen. Auf der Homepage <http://www.medizinauskunft.de> sind folgende Untersuchungsergebnisse veröffentlicht:

- Das Risiko, einen Herzinfarkt zu erleiden, steigt bei Männern um etwa 30 Prozent, falls sie längere Zeit in Gebieten mit hohem Verkehrslärm wohnen, deren mittlerer Schallpegel im Außenbereich am Tag über 65 dB(A) liegt.
- Menschen, die nachts vor ihrem Schlafzimmerfenster einen mittleren Schallpegel von 55 Dezibel oder mehr haben, weisen ein fast doppelt so hohes Risiko, wegen Bluthochdrucks in Behandlung zu sein, auf, wie diejenigen, bei denen der mittlere Pegel unter 50 Dezibel liegt.

Im achten Umweltkontrollbericht des Österreichischen Umweltbundesamtes wird davon ausgegangen, dass ab einem Geräuschpegel von 60-65 dB(A) Belästigungsreaktionen beim Menschen auftreten können, ab 65-70 dB(A) aber bereits eindeutig eine Gesundheitsgefährdung besteht [11].

Die Reduktion des Straßenverkehrslärms kann somit einen eindeutigen Beitrag zu einem angenehmeren und gesünderen Leben leisten. Dabei ist eine Lärmpegelreduktion von 1 dB(A) vom menschlichen Ohr kaum wahrnehmbar, während eine Reduktion um 3 dB(A) bereits deutlich zu erkennen ist. Ein um 10 dB(A) leiseres Geräusch entspricht schließlich einem halbierten Lautheitseindruck.

Aber wie sind diese Schallpegelreduktionen erreichbar?

Beispielsweise konnte durch den Einsatz von lärm mindernden Fahrbahndeckschichttypen ein um ca. 6-8 dB(A) leiserer Vorbeifahrtpegel eines Pkw's im Vergleich zu einer konventionellen Asphaltbetondecke gemessen werden.

Die heutzutage technisch mögliche und erreichbare Lärmpegelreduktion des Gesamtsystemes Fahrzeug – Reifen – Fahrbahndeckschicht im Straßenverkehr wird in der Literatur mit 8-10 dB(A) angegeben (siehe zum Beispiel [1], [12] oder [13]).

Das wiederum entspräche einer Halbierung des Straßenverkehrslärms!

## 2.2 Entstehungsmechanismen des Reifen–Fahrbahn–Geräusches

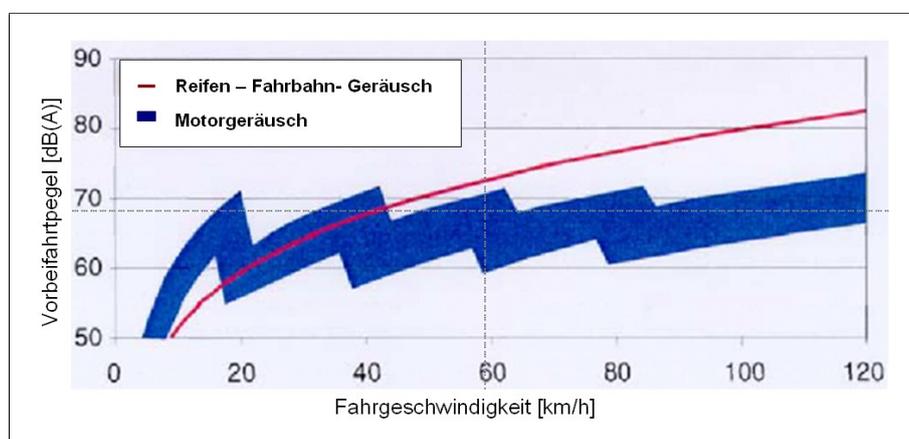
### 2.2.1 Grundlagen

Ein vorbeifahrendes Fahrzeug stellt eine sehr komplexe Geräuschquelle dar. Bei der Bewegung eines Personen- bzw. eines Lastkraftwagens entsteht Schall an den unterschiedlichsten Stellen. Einen dominierenden Einfluss spielt dabei einerseits das Abrollen des Reifens auf der Fahrbahndeckschicht und andererseits durch den Fahrzeugantrieb bzw. die Abgasanlage entstehende Geräusche. Die wichtigsten Schallquellen lassen sich nach Schwarz folgendermaßen zusammenfassen [14]:

- Reifenrollgeräusch,
- Motorgeräusch,
- Auspuffgeräusch,
- Ansauggeräusch und
- Fahrtwindgeräusch.

Allerdings ist immer auf das Zusammenspiel dieser Schallquellen zu achten. Bei geringen Fahrgeschwindigkeiten spielen eindeutig die fahrzeugbezogenen Faktoren (Motor, Auspuffanlage, ...) den dominierenden Einfluss auf das Gesamtschallereignis eines vorbeifahrenden Fahrzeuges. Ab Geschwindigkeiten von ca. 30-50 km/h verringert sich dieser Einfluss und das Reifenrollgeräusch übernimmt eine vorherrschende Rolle. Bei einem Lkw steigt dieser Grenzwert auf 70 km/h [15]. Bei Motorrädern dominieren prinzipiell die Motorgeräusche, speziell im Innerortsbereich hängt die Schallemission besonders von der Wahl des Ganges ab (Vorbeifahrtpegel bei 50 km/h können je nach Gang zwischen 65 dB(A) und 90 dB(A) variieren [16]).

Bei weiter steigenden Fahrgeschwindigkeiten, ab ca. 120 km/h, spielen weiters noch Luftturbulenzen, die an den verschiedenen Karosseriekanten entstehen, eine mit ansteigender Geschwindigkeit immer dominierendere Rolle bei der Schallanregung [17]. Abbildung 2.7 zeigt den Einfluss von Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Motorgeräusch auf das Gesamtschallereignis bei der beschleunigten Vorbeifahrt eines Personenkraftwagens.



**Abbildung 2.7:** Einfluss von Reifen-Fahrbahn- Geräusch und Motorgeräusch eines Pkw's auf das Gesamtschallereignis (nach [18])

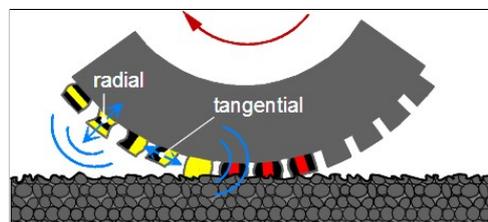
Betrachtet man die heutzutage gefahrenen Geschwindigkeiten auf unseren Straßen, vor allem im hochrangigen Straßennetz, so lässt sich eindeutig erkennen, dass der Reifen-Fahrbahn-Kontakt einen überwiegenden Einflussfaktor bei der Entstehung des Straßenverkehrslärmes darstellt. Nach Abbildung 2.7 beträgt die Differenz zwischen Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Motorgeräusch ab ca. 80 km/h an die 10 dB(A), dadurch erscheint das Reifen-Fahrbahn-Geräusch auch rechnerisch als eindeutig dominierende Schallquelle (siehe auch Kapitel 2.1.1). Im städtischen Bereich schwindet dieser Einfluss etwas. Durch die maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h spielen Motorgeräusche, vor allem beim Lkw, eine große Rolle. Allerdings hängt die Geräuschenstehung im städtischen Bereich auch stark vom Fahrverhalten (Gangwahl, Bremsvorgänge und Beschleunigungsverhalten, ...) der Verkehrsteilnehmer ab.

Die Entstehung und Ausbreitung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches basiert auf vielen sehr komplexen physikalischen Mechanismen, die stark vom Aufbau des Reifens, vom Reifentyp und von der Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahndeckschicht abhängen. Zur Schallanregung, hervorgerufen durch den Reifen-Fahrbahn-Kontakt, tragen prinzipiell zwei verschiedene Mechanismen bei:

- die Anregung mechanischer Schwingungen des Reifens und
- die Auslösung aerodynamischer Vorgänge in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht.

### 2.2.2 Mechanische Schallanregung des Reifens

Die Verformung des Reifens durch den Rollvorgang führt zu einer lokalen Änderung der dynamischen Steife und damit zu einer mechanischen Schwingungsanregung des Reifens. Diese Anregung betrifft auch die Profilklotze im Kontaktbereich. Die Klotze werden beim Abrollen unter Einwirkung großer tangentialer und radialer dynamischer Kräfte verformt. Beim Kontaktverlust der Profilklotze mit der Fahrbahnoberfläche schwingen diese sowohl in radialer als auch in tangentialer Richtung aus (siehe Abbildung 2.8). Dieser Effekt ist prinzipiell nur von dem vorhandenen Reifenprofil abhängig, bei einer völlig glatten Fahrbahnoberfläche würden diese Schwingungsvorgänge ebenfalls stattfinden.



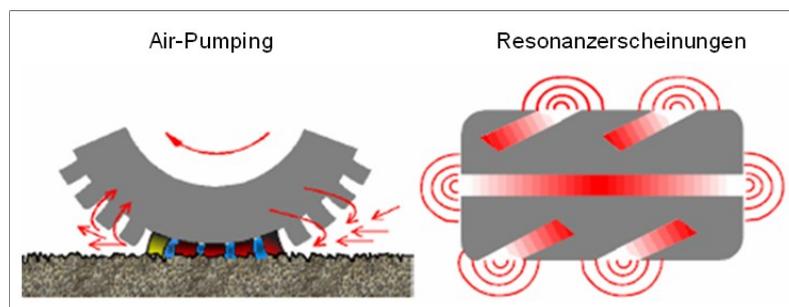
**Abbildung 2.8:** Mechanische Schwingungsanregung eines Profilklotzes am rollenden Reifen (nach [19])

Zusätzlich wird der rollende Reifen aber auch durch die Fahrbahntextur in Schwingung versetzt.

Adhäsionskräfte und Gleitreibungseffekte (stick-snap bzw. stick-slip Effekte) zwischen Profilklotzen und Fahrbahnoberfläche können diese Effekte noch verstärken. Unmittelbar nach der Herstellung einer bituminösen Fahrbahndeckschicht ist es vor allem die Adhäsion zwischen Reifengummi und Bitumen, die lärmemittierende Schwingungen erzeugt.

### 2.2.3 Aerodynamische Schallanregung des Reifens

Die Grundlage für eine aerodynamische Schallanregung des Reifens stellt das kompressible Medium Luft dar. Diese Kompressibilität führt dazu, dass die Luft in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn nicht nur verdrängt, sondern bei hohem Staudruck in den Hohlräumen auch komprimiert wird. Rolllt der Reifen weiter, öffnen sich diese Hohlräume wieder und die eingeschlossene Luft tritt explosionsartig am Ende der Reifenaufstandsfläche aus, man spricht vom so genannten Air-Pumping- Effekt (siehe Abbildung 2.9). Dieser äussert sich durch die Abstrahlung höherfrequenter Schallanteile mit einer Frequenz größer als 1 kHz. Diese Schallabstrahlung ist umso größer, je dichter die Profiltrillen von der Fahrbahnoberfläche abgeschlossen werden, bis hin zum Extremfall der glatten Oberfläche.

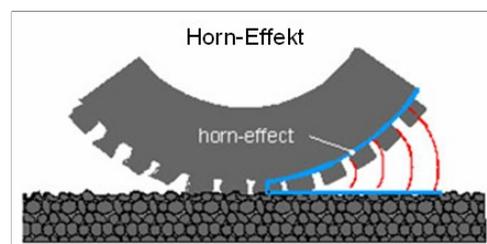


**Abbildung 2.9:** Aerodynamische Schwingungsanregung des Reifens, Air-Pumping-Effekt und Resonanzerscheinungen (nach [20])

Die Rotation des Reifens und die Verdrängung der Luft in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche führen zu Strömungen der Luft durch die von Profil und Fahrbahn gebildeten Kanäle, Hohlräume und Begrenzungsflächen. Die Intensität dieser Resonanzerscheinungen wächst mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit.

### 2.2.4 Schallabstrahlung und Horn-Effekt

Durch die gekrümmte Lauffläche des Reifens und die Fahrbahnoberfläche entsteht eine Art Trichter, der sich wie ein Lautsprecher den bestehenden Schallanteilen gegenüber verhält und die Schallabstrahlung im Frequenzbereich zwischen 1 und 3 kHz wesentlich verstärkt. Das Prinzip des so genannten Horn-Effektes ist in Abbildung 2.10 schematisch dargestellt.



**Abbildung 2.10:** Horn-Effekt zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche [19]

Nach Beckenbauer [15] wird durch den so genannten Horn-Effekt die Schallabstrahlung derart verstärkt, dass im Extremfall eine Erhöhung des Lärmpegels um bis zu 20 dB(A) in den Frequenzbereichen ab 500 Hz erreicht werden kann.

## 2.3 Einflussfaktoren auf den Straßenverkehrslärm

### 2.3.1 Einflussfaktoren auf das Reifen-Fahrbahn- Geräusch

#### 2.3.1.1 Grundlagen

Das Schallereignis bei der Vorbeifahrt eines Kraftfahrzeuges wird größtenteils durch die Eigenschaften der Fahrbahn und der verwendeten Reifen charakterisiert. Ebenso spielen aber auch Fahrzeugeigenschaften und Umgebungsbedingungen, wie zum Beispiel Fahrbahn- und Umgebungstemperatur oder Wind und Nässe, eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Entstehung und Ausbreitung von Geräuschemissionen bei der Vorbeifahrt eines Fahrzeuges [21]. Grundsätzlich lässt sich die Vielzahl an Einflussfaktoren auf die Hauptkategorien

- Fahrzeug(antrieb),
- Reifen,
- Fahrbahndeckschicht und
- Umgebungsbedingungen

reduzieren. Abbildung 2.11 zeigt einen Überblick über die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Entstehung von Straßenverkehrslärm.

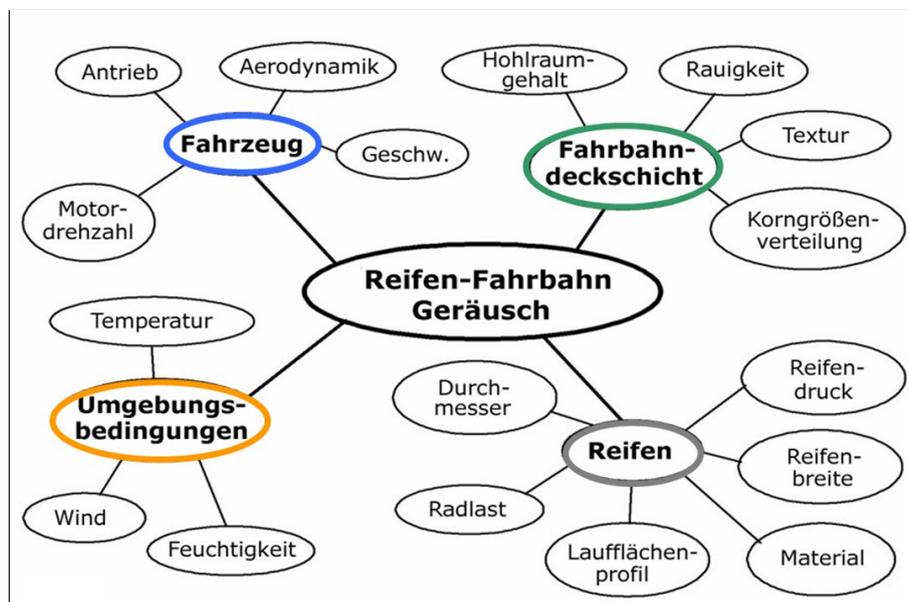


Abbildung 2.11: Einflussparameter auf das Reifen-Fahrbahn- Geräusch

Diese Parameter stehen allerdings nicht jeder für sich alleine da, sondern sie beeinflussen einander gegenseitig. Eine wirkungsvolle Optimierung des Reifen-Fahrbahn- Geräusches kann nur durch eine Betrachtung des Gesamtsystemes Fahrzeug – Reifen – Fahrbahndeckschicht erfolgen.

#### 2.3.1.2 Einflussfaktoren beim Fahrzeug

Den dominierenden Faktor auf die Schallentstehung bei Kraftfahrzeugen stellt der Fahrzeugantrieb dar. Die im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeuges entstehenden verschiedenen

Geräusche lassen sich nach Pucher [4] in das Motorgeräusch und das Geräusch von Nebenaggregaten unterteilen. Das Motorgeräusch gliedert sich wiederum in die folgenden Schallerreger:

- das *Gaswechselgeräusch* hervorgerufen durch die pulsierende Strömung der angesaugten Luft und der ausströmenden Abgase,
- das *Verbrennungsgeräusch* hervorgerufen durch einen schlagartigen Zylinderdruckanstieg und durch Zylinderdruckschwankungen (die abstrahlenden Teile sind dabei unter anderem der Zylinderkopf und Ventildeckel sowie der Einlass- und Auslasskrümmer),
- das *Triebwerksgeräusch* hervorgerufen durch Stöße in den Pleuellagern und den Kurbelwellengrundlagern sowie durch den Kolbensschlag und
- das *Steuerungsgeräusch* hervorgerufen durch Ventilstöße in der Nockenwelle und deren Antrieb, im Einspritzpumpenantrieb, der Einspritzpumpe selber und den Einspritzdüsen (die schallabstrahlenden Bauteile sind dabei der Zylinderkopf, die Räderkastendeckel und das Einspritzpumpegehäuse).

Das Geräusch von Nebenaggregaten entsteht in der Regel durch direkte Schallabstrahlung. Auch die Wahl der Motorisierung spielt eine enorme Rolle. Dieselbetriebene Fahrzeuge sind generell lauter einzustufen als solche, die mit einem Ottomotor angetrieben werden. Durch die Verwendung alternativer Antriebssysteme, wie zum Beispiel durch die Verwendung eines Hybrid- oder Elektromotors, können weitere Lärmpegelreduktionen erreicht werden. Krell [16] spricht weiters von einem Einfluss der unterschiedlichen Getriebearten, indem er feststellt, dass automatische Getriebe, die in der Regel früher hochschalten als Handschaltungen, in der Regel eine Minderung der Geräuschemission bewirken.

Schließlich stellen noch unterschiedliche Kraftfahrzeugtypen verschieden starke Schallerreger dar. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass Schwerfahrzeuge bei gleicher Fahrgeschwindigkeit um rund 10 dB(A) lautere Schallpegel aufweisen als Personenkraftwagen. Das bedeutet mit anderen Worten, ein Lkw emittiert in etwa genauso hohe Schallpegel wie es die zehnfache Anzahl an Pkw's machen würde (siehe Abbildung 2.2). Aus diesem Grund stellt der Schwerverkehr auch den Hauptanteil am entstehenden Straßenverkehrslärm dar. Ebenso spielt auch das Alter der beurteilten Fahrzeugflotte eine Rolle. Neueste Entwicklungen am Fahrzeugsektor setzen sich erst mit einer gewissen Nachlaufzeit in der Realität (im wirklichen Straßenverkehr) durch.

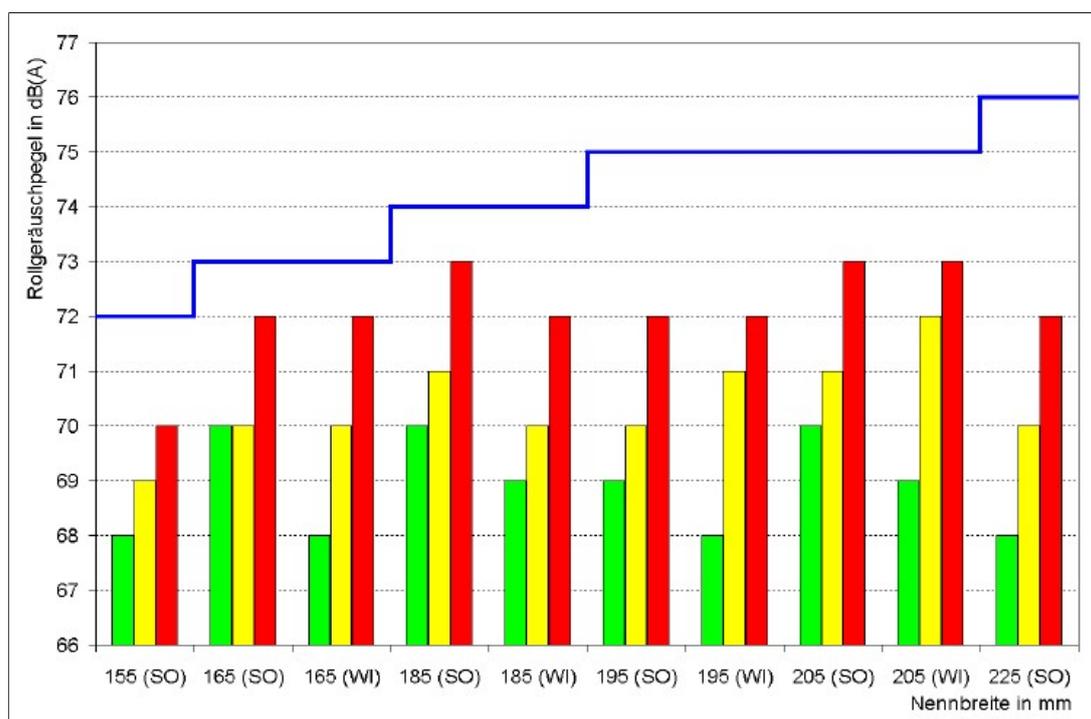
### 2.3.1.3 Einflussfaktoren beim Reifen

Der Einfluss des Reifens auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch wird im Wesentlichen durch das Laufflächenprofil, den Reifenaufbau (Gürtelkonstruktion, Reifenunterbau, ...), das Material (Laufstreifenmischung, ...) und die Reifenabmessungen bestimmt. Prinzipiell lassen sich die Einflussparameter in konstruktive Parameter und Betriebsparameter einteilen. Unter den konstruktiven Parametern versteht man unter anderem die Reifenbreite, den Reifendurchmesser, die Profilgestaltung des Reifens und das Reifenmaterial. All diese Eigenschaften weisen einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch auf. Pucher et al. [21] geben hier ein Lärmreduktionspotenzial um bis zu 3 dB(A)

an. Die Betriebsparameter hingegen, wie zum Beispiel die Belastung des Reifens oder der Reifendruck spielen eher eine untergeordnete Rolle bei der Schallentstehung.

Die derzeit auf dem Markt befindlichen Reifen weisen hinsichtlich des Reifenrollgeräusches zum Teil erhebliche Unterschiede auf. Trotzdem ist bei der üblichen Reifenkennzeichnung kein Faktor für das Rollgeräusch vorhanden. Damit hat der Verbraucher keine Möglichkeit, aus der Vielzahl an angebotenen Reifen einen möglichst lärmarmen Reifentyp zu wählen. In dem Merkblatt "Lärmarme Reifen" des ÖAL (Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung) wird für den umweltbewussten Käufer vorgeschlagen, die Homepage des Deutschen Umweltbundesamtes (siehe [22]) zu Rate zu ziehen, und aus den dort aufgelisteten Reifen diejenigen auszuwählen, die einen Kennwert von unter 70 dB(A) aufweisen.

In Deutschland wurde im Jahr 2004 ein Umweltzeichen für "lärmarme und kraftstoffsparende Kraftfahrzeugreifen" eingeführt, das einen Grenzwert für das Abrollgeräusch von Pkw-Reifen gemäß EU-Richtlinie 2001/43/EG [23] von 72 dB(A) angibt (siehe auch [24]). Allerdings wird dieses Umweltzeichen von den Reifenherstellern größtenteils ignoriert, da die meisten zurzeit am Markt befindlichen Reifen diesen Grenzwert ohne Probleme um einiges unterschreiten. Eine Studie der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg zeigt dies sehr eindrucksvoll (siehe Abbildung 2.12).

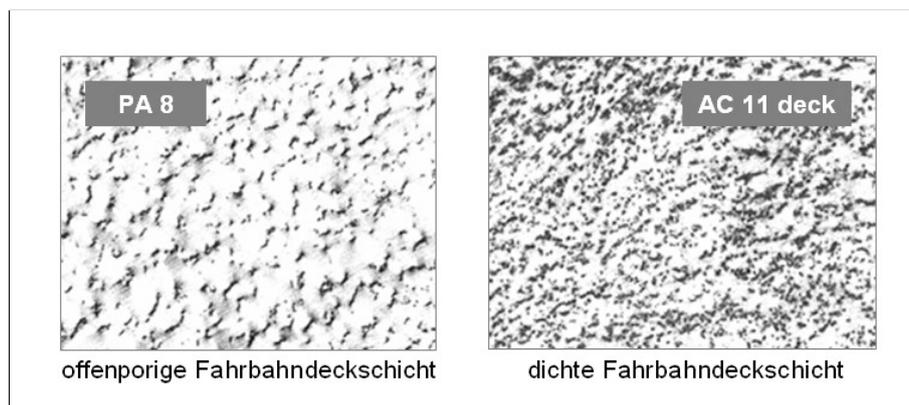


**Abbildung 2.12:** Vergleich der Rollgeräuschpegel von Pkw-Reifen (Minimum, Mittelwert, Maximum) [25] mit den Grenzwerten der EU-Reifenrichtlinie (als blaue Linie) in Abhängigkeit der Reifenbreite (SO – Sommerreifen, WI – Winterreifen) [26]

Zur Vergleichbarkeit der Messergebnisse sei gesagt, dass all diese Lärmpegelmessungen gemäß EU-Richtlinie 2001/43/EG auf einem so genannten ISO-Belag durchgeführt wurden, der in etwa einer Fahrbahndeckschicht aus Asphaltbeton - AC 8 deck - entspricht.

### 2.3.1.4 Einflussfaktoren bei der Fahrbahndeckschicht

Hauptverantwortlich für die Entstehung von Rollgeräuschen bei der Vorbeifahrt eines Fahrzeuges ist die Berührungsfläche zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht. Dabei muss zwischen der Aufstandsfläche des Reifens, die von der Reifengröße, dem Luftdruck im Reifen und der Auflast, also rein von Reifen- und Fahrzeugparametern, abhängig ist und der direkten Kontaktfläche, bei der die Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahndeckschicht eine entscheidende Rolle spielt, unterschieden werden. Die Bestimmung der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht kann auf verschiedene Arten erfolgen. Eine simple und kostensparende Methode wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes der Straßenforschung im Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie vom Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung entwickelt (siehe [27]). Grundlage des Verfahrens ist es, die Deckschichtoberfläche mittels eines Kohlestiftes auf ein Blatt Papier zu übertragen, um somit die Kontaktfläche zwischen einem Slick-Reifen und der Fahrbahndeckschicht abschätzen zu können. Der Anteil der schwarzen Flächen an der Gesamtskizze kann schließlich repräsentativ für die Kontaktfläche angenommen werden. In Abbildung 2.13 ist eine Abschätzung der Kontaktfläche von dichten Deckschichten im Vergleich zu offenporigen Deckschichten mit einem Slick-Reifen gezeigt.



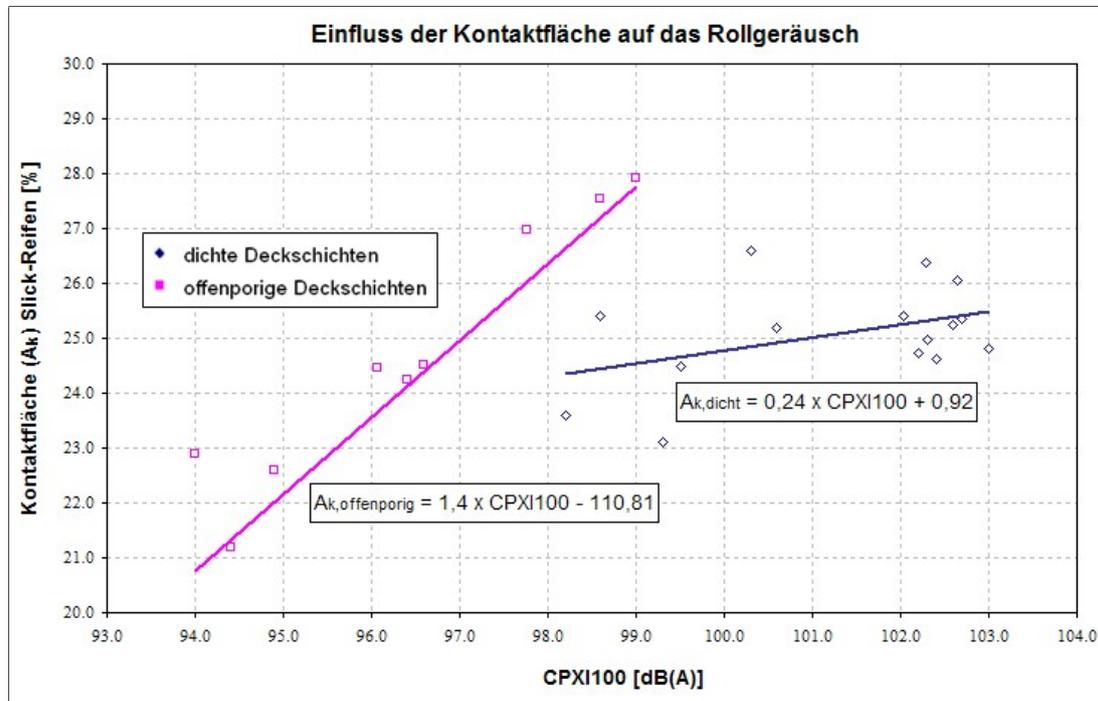
**Abbildung 2.13:** Beispiel für die abgeschätzte Kontaktfläche zwischen Slick-Reifen und Fahrbahndeckschicht bei offenporigen und bei dichten Deckschichten (nach [27])

Der Schwarzanteil der Skizzen beträgt nach der Analyse der durchgeführten Oberflächenuntersuchungen ca. 27% bei den untersuchten offenporigen Deckschichten und ca. 34% bei den dichten Deckschichten (Asphaltbeton). Wird nun noch die Reifenprofilierung mitberücksichtigt, so verringert sich diese Kontaktfläche noch um weitere 7-9%. Es ergibt sich somit eine direkte Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht von ca. 18-20% bei offenporigen Deckschichten und ca. 25-27% bei dichten Deckschichten (Asphaltbeton).

Generell lässt sich daraus der folgende Schluss ziehen: eine größere Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht bewirkt einen höheren Rollgeräuschpegel.

Diese Hypothese wird auch durch Messungen, die im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes durchgeführt wurden, bestätigt und weiter konkretisiert. Abbildung 2.14 zeigt eine Serie an Zustandsbeurteilungen an verschiedenen untersuchten Fahrbahndeckschichttypen, die nach dem oben beschriebenen Verfahren ausgeführt worden sind, im Vergleich zu den gemessenen Rollgeräuschpegeln derselben Fahrbahndeckschichttypen.

Dabei handelt es sich sowohl um offenporige Asphaltdeckschichten, wie einlagiger und zwei-lagiger offenporiger Asphalt, als auch um dichte Deckschichttypen, wie Splittmastixasphalt, lärmindernder Splittmastixasphalt und polymermodifizierter Walzasphalt. Zum Vergleich werden Rollgeräuschmessungen gemäß der Internationalen Norm ISO/CD 11819-2 [28] und der darin definierte Close Proximity Index (CPXI) herangezogen.



**Abbildung 2.14:** Kontaktfläche zwischen einem Slick-Reifen und dichten bzw. offenporigen Fahrbahndeckschichten im Vergleich zum Rollgeräuschpegel CPXI bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h (nach [29])

Demnach ist der Einfluss der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht auf das Rollgeräuschverhalten der Fahrbahndeckschichten bei dichten Deckschichten ungefähr sechsmal so groß wie bei offenporigen Deckschichten. Bewirkt eine Erhöhung des Schwarzanteiles von ca. 1% bei den untersuchten dichten Deckschichten eine Erhöhung des Rollgeräusches um ca. 4,2 dB(A), so beträgt diese Erhöhung bei den untersuchten offenporigen Deckschichten nur ca. 0,7 dB(A).

Ebenso wie die Reifenaufstandsfläche spielt auch das maximale Größtkorn der Fahrbahndeckschicht eine bedeutende Rolle bei der Entstehung von Schallemissionen. Abbildung 2.15 zeigt den Zusammenhang von Verkehrslärm und verwendetem maximalen Größtkorn anhand von untersuchten dichten und offenporigen Fahrbahndeckschichten (Datengrundlage aus [29]).

Die linksseitige Punktgruppe mit Größtkorn 8 mm weist um einiges geringere Rollgeräuschpegel auf als die rechte Punktgruppe, die aus den Fahrbahndeckschichten mit Größtkorn 11 mm besteht. Dies erscheint auch logisch, da durch ein kleineres Größtkorn die Reifenanregung reduziert wird. Allerdings ist hierbei ebenso der Einfluss der Schallabsorption bei den untersuchten offenporigen Asphaltdeckschichttypen zu berücksichtigen, der ebenso zu einer Verringerung der Schallemissionen beiträgt.

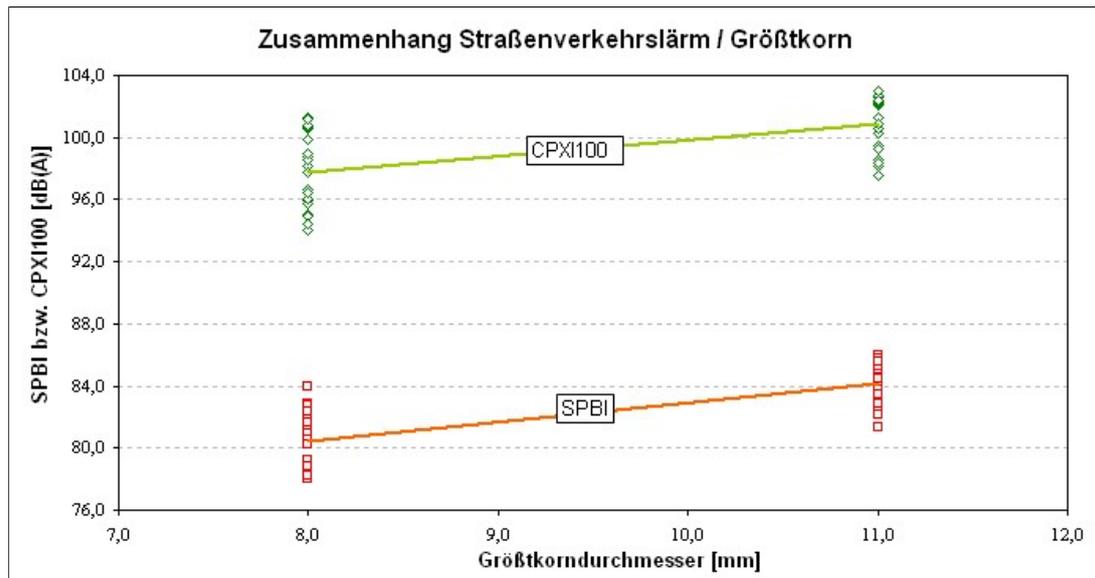


Abbildung 2.15: Einfluss des Größtkorndurchmessers einer Fahrbahndeckschicht auf ihr Geräuschverhalten (nach [29])

Im EU-Projekt SILVIA (siehe [1]) wird der Einfluss des Größtkornes mit ca. 0,6 dB(A) pro mm Größtkorn angegeben, eine Erhöhung des Größtkornes um 3 mm entspräche somit einer Schallpegelerhöhung um ca. 2 dB(A). Abbildung 2.16 zeigt diesen Einfluss am Beispiel von untersuchten Splittmastixasphalten mit unterschiedlichen Größtkorndurchmessern. Auch hier zeigt sich dieselbe Tendenz wie bei den in Abbildung 2.15 gezeigten Analysen.

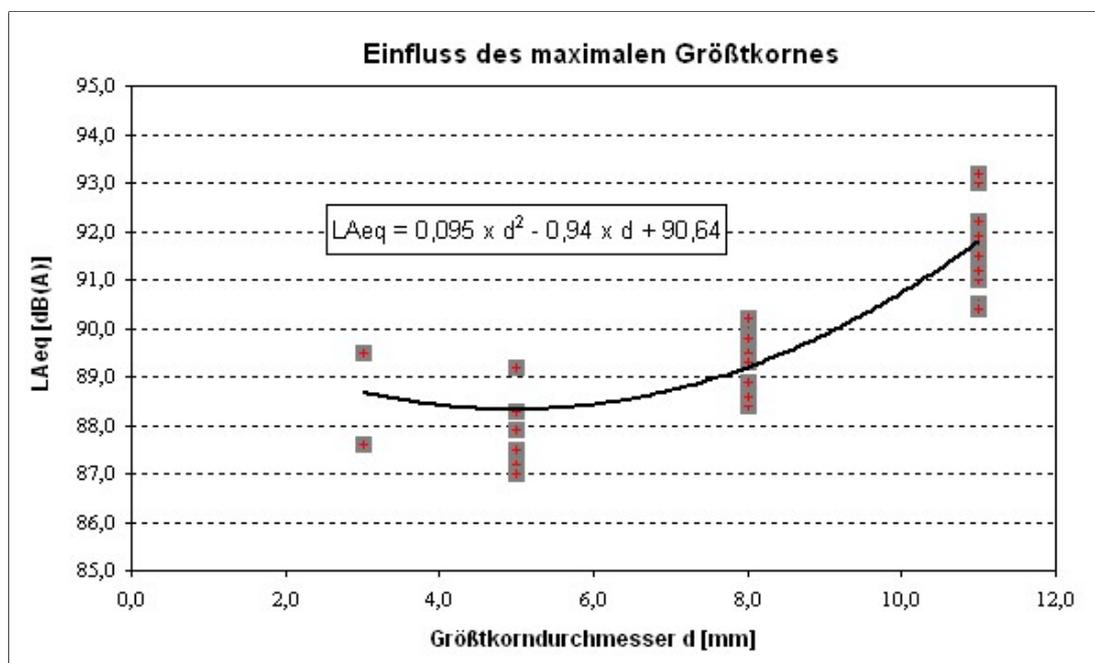


Abbildung 2.16: Einfluss des Größtkornes auf das Vorbeifahrtgeräusch eines Pkw's bei Splittmastixasphalten (nach [1] bzw. [29])

Bei der Betrachtung der Abbildung 2.16 ist aber auch noch eine andere Tendenz zu erkennen. Eine Verringerung des Größtkornes kann zwar eine Lärminderung bewirken, allerdings scheint eine Grenze bei einem maximalen Größtkorndurchmesser von ca. 5 mm erreicht zu sein. Eine weitere Verringerung des Größtkornes schlägt sich dann nicht mehr in einem geringeren Schallpegel nieder. Sandberg et al. [30] sprechen sogar von einer leichten

Erhöhung des Rollgeräusches bei einem Größtkorndurchmesser unterhalb von 5 mm.

Bei einer genaueren Betrachtung der Oberfläche einer Fahrbahndeckschicht ergeben sich weitere wichtige Einflussfaktoren auf die Entstehung des Straßenverkehrslärms. Die Oberfläche einer Fahrbahndeckschicht wird prinzipiell durch die zwei Parameter Wellenlänge und Profiltiefe beschrieben. Abbildung 2.17 zeigt eine schematische Darstellung eines Oberflächenprofils. Als Wellenlänge wird der waagrechte Abstand zweier Profilspitzen bezeichnet, die Profiltiefe stellt den senkrechten Abstand einer Profilspitze zur Talsenke dar.

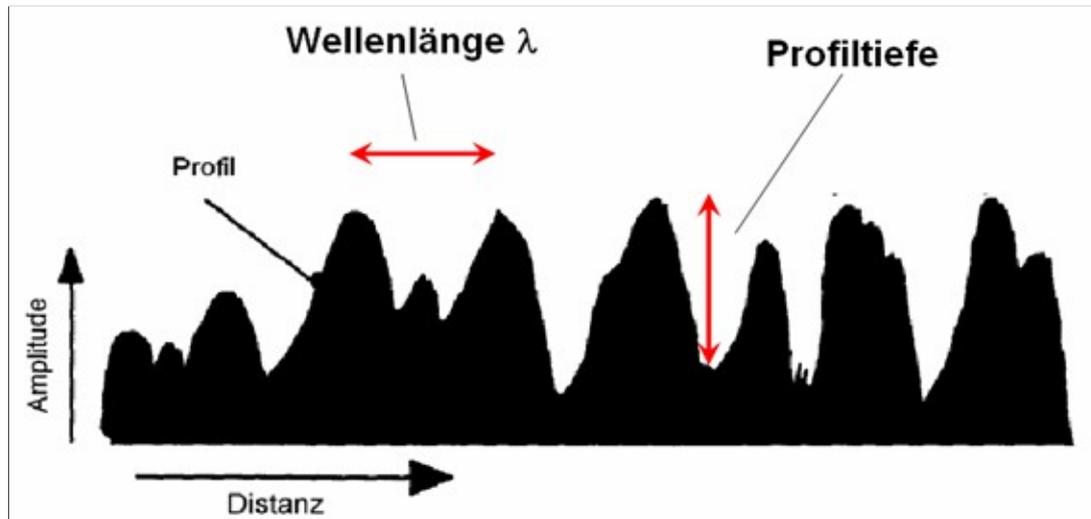


Abbildung 2.17: Darstellung eines Oberflächenprofils (nach [31])

Die so genannte Oberflächentextur hat einen wesentlichen Einfluss auf die Lärmemissionen eines fahrenden Kraftfahrzeuges, aber auch auf andere Gebrauchseigenschaften der Straßenoberfläche, wie zum Beispiel auf die Griffigkeit oder auf die Sprühfahnenbildung [32]. Sie ist wesentlich von den verwendeten Materialien der Fahrbahndeckschicht und deren Eigenschaften abhängig. Darüber hinaus spielen Einwirkungen aus Verkehr und Witterung bei der zeitlichen Änderung der Textur eine wichtige Rolle. Je nach Wellenlänge wird zwischen Mega-, Makro- und Mikrotextur unterschieden (siehe Abbildung 2.18).

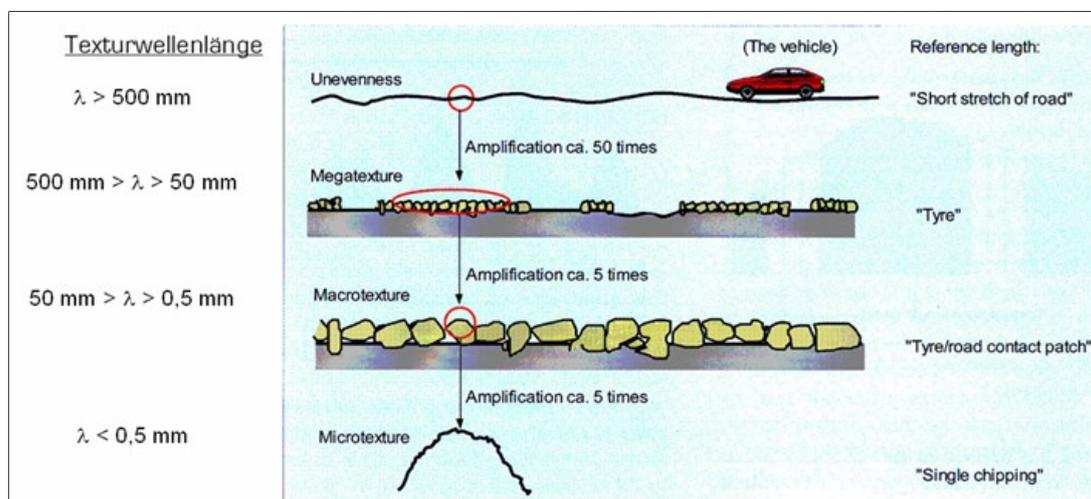


Abbildung 2.18: Darstellung von Mega-, Makro- und Mikrotextur (nach [30])

Die Megatextur mit Texturwellenlängen von 50 mm bis 500 mm hat vor allem auf die Längsunebenheit einer Straße einen bedeutenden Einfluss und somit auch auf das Reifenrollgeräusch und den Rollwiderstand. Je unebener die Oberfläche einer Fahrbahndeckschicht ist, desto höher sind die sich entwickelnden Schallemissionen. Diese können zum Beispiel zusätzlich durch Hüpfbewegungen eines Anhängers oder des Aufbaues bei einem Lkw entstehen. Die Makrotextur (Texturwellenlängen von 0,5 mm bis 50 mm) wird durch die Größe und Anordnung der an der Oberfläche befindlichen Mineralstoffe gebildet und charakterisiert die Oberflächenstruktur einer Deckschicht. Sie wird gemäß ISO 13473-1 [33] durch die mittlere Profiltiefe MPD (Mean Profile Depth) ausgedrückt. Die Makrotextur hat die Aufgabe, vor allem bei höheren Fahrgeschwindigkeiten, das Reifenprofil beim Abführen des Wassers aus der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht zu unterstützen und somit auch die Aquaplaninggefahr zu verringern. Bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten wird diese Aufgabe überwiegend vom Reifenprofil übernommen, da durch die längere Kontaktdauer zwischen den Flächenelementen des Reifens und der Straßenoberfläche eine ausreichend schnelle Wasserabführung durch den Reifen allein gewährleistet werden kann. Die Makrotextur ist somit ein wichtiger Einflussfaktor für das Drainagevermögen einer Deckschicht, aber auch für das Reifenrollgeräusch [34]. Bei einer geringen Makrotextur dominieren die Air-Pumping-Effekte die Entstehung von Schallemissionen. Bei einer höheren Makrorauigkeit bestimmen hingegen die Reifenschwingungen das Geräuschverhalten. Bei der lärmtechnischen Optimierung einer Fahrbahndeckschicht gilt es somit, einen Kompromiss in der Ausbildung der Makrotextur zu finden (siehe Kapitel 3.2.3), um sowohl die Schallemissionen aus Air-Pumping-Effekten als auch aus Reifenschwingungen zu minimieren. Die Mikrotextur (Texturwellenlängen kleiner als 0,5 mm) hängt stark von der Oberfläche der verwendeten Gesteinskörner ab. Sie hat die Aufgabe, einen eventuell vorhandenen Wasserfilm in der Reifenaufstandsfläche zu durchbrechen und dadurch einen trockenen, kraftschlüssigen Kontakt zu den Profilstollen des Reifens herzustellen [35]. Der Einfluss der Mikrotextur auf die Geräuschentwicklung kann aber als gering angesehen werden. In Abbildung 2.19 ist der Einfluss der Textur auf die Gebrauchseigenschaften Griffigkeit und Reifen-Fahrbahn-Geräusch einer Fahrbahnoberfläche zusammenfassend dargestellt.

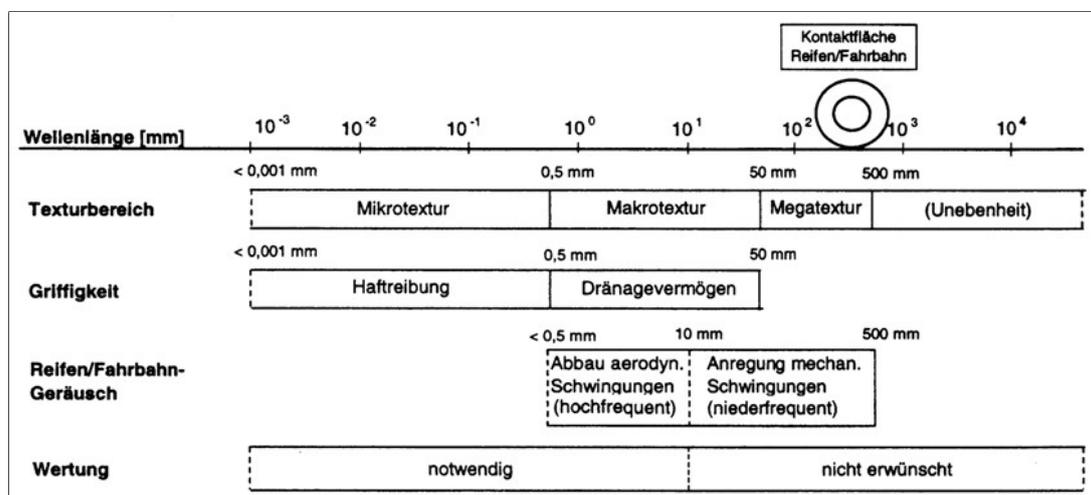
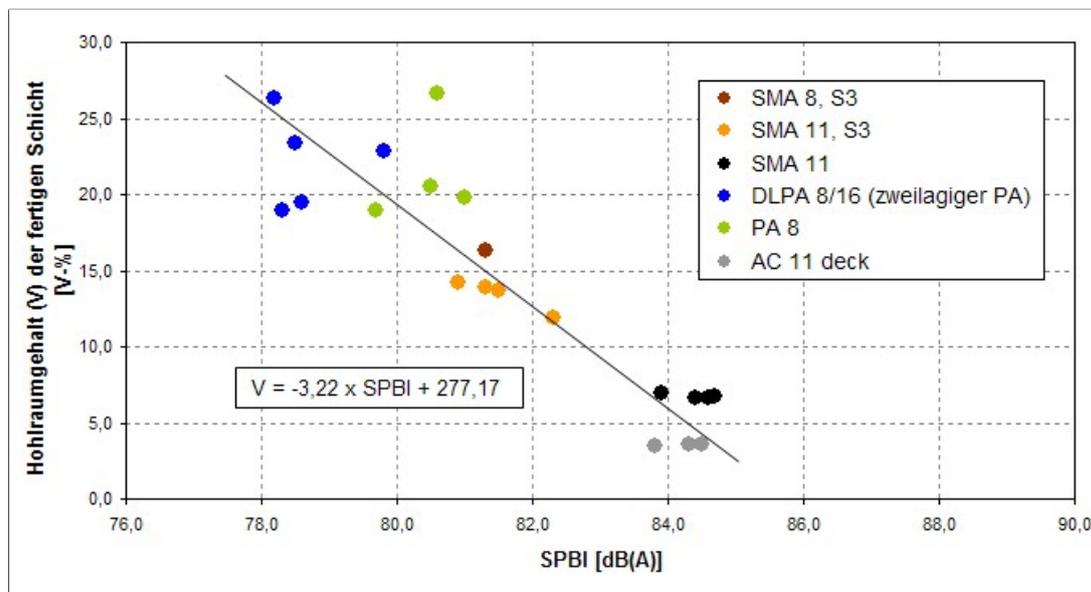


Abbildung 2.19: Einfluss der Textur auf die Gebrauchseigenschaften Griffigkeit und Reifen-Fahrbahn-Geräusch einer Fahrbahnoberfläche (nach [36])

Neben der Oberflächentextur spielt auch noch der Hohlraumgehalt einer Fahrbahndeckschicht eine große Rolle bei der Entstehung von Schallemissionen. Der unterschiedliche Hohlraumgehalt entsteht prinzipiell durch verschiedenartige Sieblinien, da durch die Erhöhung des Grobkornanteiles auch der Hohlraumgehalt erhöht wird. Abbildung 2.20 zeigt die nach der Deckschichtlegung bestimmten Hohlraumgehalte von verschiedenen untersuchten Fahrbahndeckschichten im Vergleich zu den gemessenen Vorbeifahrtgeräuschpegeln (SPBI – Statistical Pass By Index)<sup>(a)</sup>.



**Abbildung 2.20:** Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Vorbeifahrtpegel an verschiedenen Fahrbahndeckschichten (nach [29])

Hier zeigt sich eindeutig, dass ein steigender Hohlraumgehalt einen geringeren Vorbeifahrtpegel hervorruft; steigt der Hohlraumgehalt um 5-6%, so ergibt sich ein um ca. 2 dB(A) geringerer Vorbeifahrtpegel. Dieses Phänomen ist vor allem durch die stärkere Wirkung der Schallabsorption bei steigenden Hohlraumgehalten der Fahrbahndeckschichten zu erklären.

Einen weiteren großen Einfluss auf das tatsächliche Geräuschniveau vorbeifahrender Fahrzeuge stellt der Oberflächenzustand der Fahrbahndeckschicht dar. Treten zum Beispiel Kornausbrüche oder Risse auf, so kommt es zu einer unregelmäßig ausgebildeten Makrotextur. Das wiederum bewirkt ein Ansteigen des Geräuschpegels bei der Vorbeifahrt. Ebenso stellen bauliche Gegebenheiten wie Straßeneinbauten (Kanaldeckel, ...), Querfugen, Bahnübergänge (im städtischen Bereich) oder Ausbesserungsstellen an Fahrbahndeckschichten kritische Stellen an der Deckschichtoberfläche dar. Vorbeifahrtmessungen in Wien haben gezeigt, dass bei der Überfahrt von Querfugen enorme Geräuschpegelerhöhungen von bis zu 10 dB(A) im Vergleich zu ebenen Strecken auftreten können [12]. Jegliche Verbesserungspotentiale bei Fahrzeugen, Reifen und Fahrbahndeckschichten können somit durch diese lärmtechnischen Schwachstellen an der Straßenoberfläche wieder relativiert werden. Dasselbe gilt für Unregelmäßigkeiten in der Längs- bzw. Querebene einer Straße. Die beste lärmindernde Fahrbahndeckschicht kann ebenso einen Teil ihres

<sup>a</sup>Anmerkung: Die Betrachtung der Rollgeräuschpegel erscheint bei diesem Vergleich nicht sinnvoll, da durch den geringen Abstand der Mikrofone zum Messreifen die Absorptionwirkung der Fahrbahndeckschichten bei der Messung des Schallpegels nicht vollständig berücksichtigt wird.

Lärminderungspotenziales verlieren, wenn die Oberfläche nicht einwandfrei gleichmäßig ausgeführt ist.

Der Einfluss der Feuchtigkeit bzw. von Nässe auf das Vorbeifahrtgeräusch von Fahrzeugen ist bis jetzt noch nicht intensiv erforscht worden. Tatsache ist allerdings, dass eine nasse Fahrbahnoberfläche im höheren Frequenzbereich ( $> 1\text{ kHz}$ ) höhere Schallpegel erzeugt als eine trockene Oberfläche [30]. Diese Schallpegelerhöhung ist um so stärker, je glatter die Fahrbahndeckschicht ist, je geringer also das Drainagevermögen der Fahrbahndeckschicht ist. Sandberg et al. [30] sprechen von Pegelunterschieden zwischen trockener und nasser Fahrbahndeckschicht von 3-6 dB(A), abhängig von der Fahrgeschwindigkeit und der Intensität des Regenereignisses.

### 2.3.1.5 Einfluss der Temperatur

Mit zunehmender Temperatur der Oberfläche der Fahrbahndeckschicht verringern sich die abgestrahlten Rollgeräusche. In einer groben Schätzung kann von einer Verringerung der Schallpegel um ungefähr 1 dB(A) pro  $15^\circ\text{C}$  ab einer Fahrbahnoberflächentemperatur über  $20^\circ\text{C}$  gesprochen werden. Dieser Temperatureinfluss kehrt sich bei tieferen Temperaturen (unter  $20^\circ\text{C}$ ) um und wird auch etwas stärker, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen unter  $20^\circ\text{C}$  kommt es zu einer Erhöhung der Schallpegel um ungefähr 1 dB(A) pro  $10^\circ\text{C}$ . In der Europäischen Richtlinie RL 2001/43/EG [23] wird dieser Temperatureinfluss durch eine Korrekturformel für den gemessenen Schalldruckpegel bei einer Abweichung der Oberflächentemperatur der Fahrbahndeckschicht von  $20^\circ\text{C}$  berücksichtigt.

$$L_r(20^\circ\text{C}) = L_r(T) + K \cdot (20^\circ\text{C} - T) \quad (2.9)$$

mit:

$L_r(20^\circ\text{C})$	.....	gerechneter Schalldruckpegel bei $20^\circ\text{C}$
$L_r(T)$	.....	gemessener Schalldruckpegel bei der Temperatur T
T	.....	Temperatur der Fahrbahnoberfläche bei der Messung
K	.....	Korrekturfaktor für Abweichungen der Oberflächentemperatur der Fahrbahndeckschicht von der Referenztemperatur von $20^\circ\text{C}$

Der Korrekturfaktor K wird in der Richtlinie folgendermaßen definiert:

- für Reifen der Klasse C1<sup>(b)</sup> gilt:

$$\begin{aligned} K &= -0,03\text{ dB(A)}/^\circ\text{C} & \text{für } T > 20^\circ\text{C} \\ K &= -0,06\text{ dB(A)}/^\circ\text{C} & \text{für } T < 20^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- für Reifen der Klasse C2<sup>(c)</sup> gilt:

$$K = -0,02\text{ dB(A)}/^\circ\text{C} \quad \text{für den gesamten Temperaturbereich}$$

- für Reifen der Klasse C3<sup>(d)</sup> ist keine Temperaturkorrektur notwendig

<sup>b</sup>Klasse C1: Reifen für Personenkraftwagen

<sup>c</sup>Klasse C2: Reifen für Nutzfahrzeuge mit einer Tragfähigkeitskennzahl für Einzelanordnung  $\leq 121$  und einem Symbol für die Geschwindigkeitskategorie  $\geq N$

<sup>d</sup>Klasse C3: Reifen für Nutzfahrzeuge mit einer Tragfähigkeitskennzahl für Einzelanordnung  $\leq 121$  und einem Symbol für die Geschwindigkeitskategorie  $\leq M$  und Reifen für Nutzfahrzeuge mit einer Tragfähigkeitskennzahl für Einzelanordnung  $\geq 122$

Der Korrekturfaktor  $K$ , und somit der Einfluss der Oberflächentemperatur der Fahrbahndeckschicht, ist also abhängig von der Reifenklasse der verwendeten Reifen. Herrscht bei Pkw-Reifen noch größerer Temperatureinfluss, so verringert sich dieser bei leichten Nutzfahrzeugen und verschwindet ganz bei schweren Lastkraftwagen (siehe Abbildung 2.21).

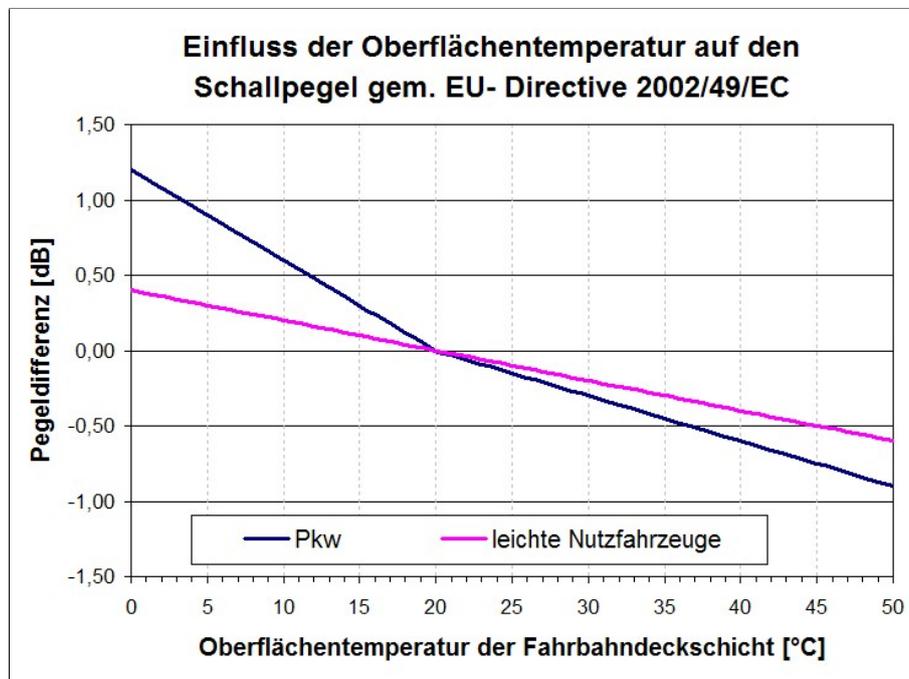
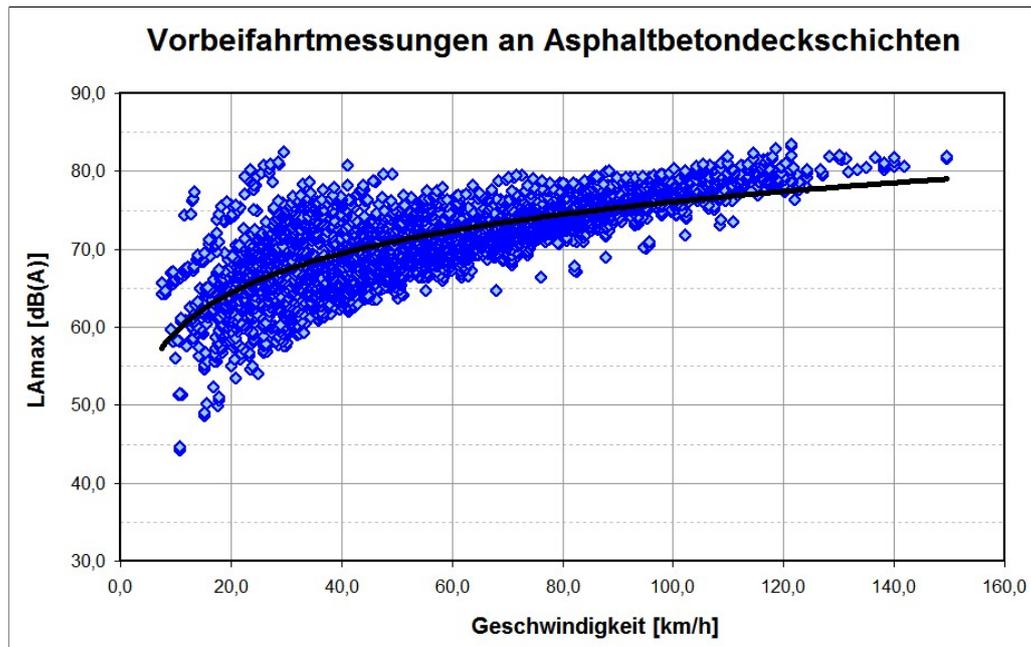


Abbildung 2.21: Temperatureinfluss auf das Schallereignis einer Vorbeifahrt (gem. [23])

Allerdings ist diese Art der Temperaturkorrektur in der Fachwelt nicht eindeutig anerkannt. Brosseau [37] spricht davon, dass in Frankreich meistens mit einer Näherung des Korrekturfaktors von  $0,1 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$  gerechnet wird. Auch Sandberg et al. [30] stehen nicht voll hinter der in der Europäischen Richtlinie angegebenen Formel, sie verweisen aber auf die Wichtigkeit einer Temperaturkorrektur mit den Worten "...however, the chosen correction is probably better than no correction at all ...". Es erscheint daher sinnvoll, Messungen des Geräuschverhaltens von Fahrzeugen immer bei einer ungefähren Oberflächentemperatur der Fahrbahndeckschicht von  $20^\circ\text{C}$  durchzuführen. Die relevanten Normenwerke zur Messung von Schallereignissen im Straßenverkehr (ISO 11819-1 zur Vorbeifahrtmessung, ISO/CD 11819-2 zur Rollgeräuschmessung und RVS 11.06.64 zur Rollgeräuschmessung) geben ebenso immer eine Referenztemperatur von  $20^\circ\text{C}$  an, die bei der Durchführung der Messungen möglichst eingehalten werden sollte. Bei Abweichungen von dieser Temperatur ist schließlich eine Umrechnung der Messergebnisse auf eine Fahrbahnoberflächentemperatur von  $20^\circ\text{C}$  durchzuführen.

### 2.3.1.6 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit

Der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf das Gesamtschallereignis zeigt sich bei jeder durchgeführten Vorbeifahrtmessung. Generell lässt sich mit steigender Fahrgeschwindigkeit bei Kraftfahrzeugen eine erhöhte Schallemission erkennen. Beispielhaft ist dieser Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf das Gesamtschallereignis einer Vorbeifahrt in Abbildung 2.22 dargestellt.



**Abbildung 2.22:** Einfluss der Geschwindigkeit auf den maximalen Vorbeifahrtpegel von Personenkraftwagen (gem. [38])

Grundlage für diese Darstellung sind Auswertungen von Messergebnissen aus über 5.000 Pkw-Vorbeifahrten auf Asphaltbetonstrecken. Die Daten stammen aus einer umfangreichen Datenbank von INRETS in Frankreich [38]. Bei Betrachtung der Abbildung 2.22 fallen vor allem drei Besonderheiten auf:

- Bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten (bis ca. 40-50 km/h) zeigt sich ein größerer Einfluss der Geschwindigkeit auf den maximalen Schallpegel als bei höheren Geschwindigkeiten.
- Bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten (bis ca. 40-50 km/h) zeigen sich größere Streuungen der einzelnen Messergebnisse als bei höheren Geschwindigkeiten.
- Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (ab ca. 120 km/h) zeigt sich ein geringer Einfluss der Geschwindigkeit auf den maximalen Schallpegel.

Diese Gegebenheiten lassen sich vor allem durch den größeren Einfluss des Fahrzeuges bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten (Dominanz des Antriebsgeräusches gegenüber dem Rollgeräusch) auf das Gesamtschallereignis erklären. Die Schwankungsbreite in den Messergebnissen resultiert somit aus unterschiedlichen verwendeten Antriebssystemen, aber auch aus dem Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer. Im Merkblatt Verkehrsberuhigung der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (RVS 04.02.13 [3]) wird der Einfluss des Fahrverhaltens folgendermaßen beschrieben:

*In der Praxis sind durch gleichmäßigere Fahrweise im Mittel Schallpegelminderungen um 1 bis 2 dB(A) zu erwarten. Das Minderungspotenzial durch niedertourige Fahrweise reicht für Pkw bis 5 dB(A) und für Motorräder bis 8 dB(A), während die Schallpegelminderung für Lkw bei maximal 3 dB(A) liegt.*

Das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer spielt somit im niedrigen Geschwindigkeitsbereich, also im städtischen Verkehr, eine bedeutende Rolle für das Gesamtschallereignis einer Vorbeifahrt.

### 2.3.2 Einflussfaktoren auf das Gesamtschallereignis

Bei der Betrachtung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches wird grundsätzlich der Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht berücksichtigt.

Im Gegensatz dazu setzt sich das Gesamtschallereignis neben dem Reifen-Fahrbahn-Geräusch noch aus weiteren Einflussfaktoren zusammen. Dazu zählen unter anderem

- die Verkehrsstärke,
- der Anteil des Schwerverkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen,
- der Fahrzustand des Fahrzeuges (Beschleunigungs- bzw. Bremsvorgänge),
- die Straßenlängsneigung,
- die Umgebungsbedingungen bei der Schallausbreitung,
- ...

Obwohl nicht direkter Bestandteil dieser Arbeit, soll der Vollständigkeit halber auch auf diese Einflussfaktoren auf den Verkehrslärm in kurzer Art und Weise eingegangen werden.

#### 2.3.2.1 Einfluss der Verkehrsstärke

Es erscheint logisch, dass mehr Verkehr auch eine höhere Lärmbelastung der im Nahbereich der Straßen lebenden Menschen bewirkt. Rein rechnerisch lässt sich feststellen, dass eine Verdoppelung der Verkehrsstärke zu einer Erhöhung der Schallemission - und damit auch der Schallimmission - um ca. 3 dB(A) führt, eine Halbierung der Verkehrsstärke zu einer Verringerung des Schallpegels um ca. 3 dB(A).

Der Deutsche Arbeitsring für Lärmbekämpfung (DAL) hat auf seiner Homepage (siehe [39]) den Einfluss der Verkehrsstärke auf das Schallereignis hervorgerufen durch den Straßenverkehr in einer Graphik zusammengefasst. Diese Graphik ist in Abbildung 2.23 gezeigt. Dabei sind der energieäquivalente Dauerschallpegel über einen Zeitraum von einer Stunde in Abhängigkeit der Verkehrszusammensetzung in einem Abstand von 25 m von der betrachteten Straße dargestellt. Zusätzlich zu den dB(A)- Werten sind auch noch mögliche mit der Schallpegelerhöhung verbundene Beeinträchtigungen auf die Lebensqualität des Menschen aufgelistet.

Zwischen der Anzahl der vorbeifahrenden Fahrzeuge bzw. dem vorbeifahrenden Fahrzeugmix und dem energieäquivalenten Dauerschallpegel besteht somit ein eindeutiger Zusammenhang.

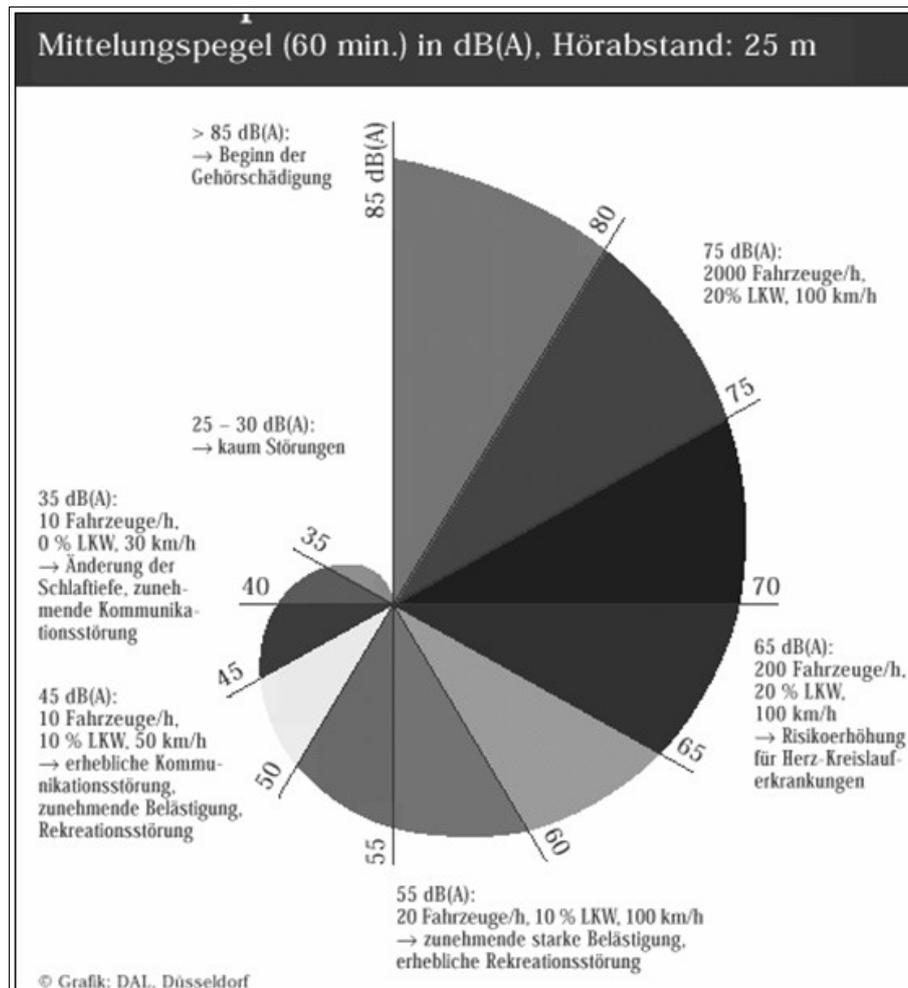


Abbildung 2.23: Einfluss der Verkehrsstärke auf den Straßenverkehrslärm [39]

Mögliche Auswirkungen von Veränderungen der Verkehrsstärken auf die Schallemission sind aufgrund von Modellrechnungen in Tabelle 2.1 zusammengestellt. Dabei wird sowohl der Einfluss einer Reduktion der Verkehrsstärke als auch der einer Erhöhung der Verkehrsstärke dargestellt.

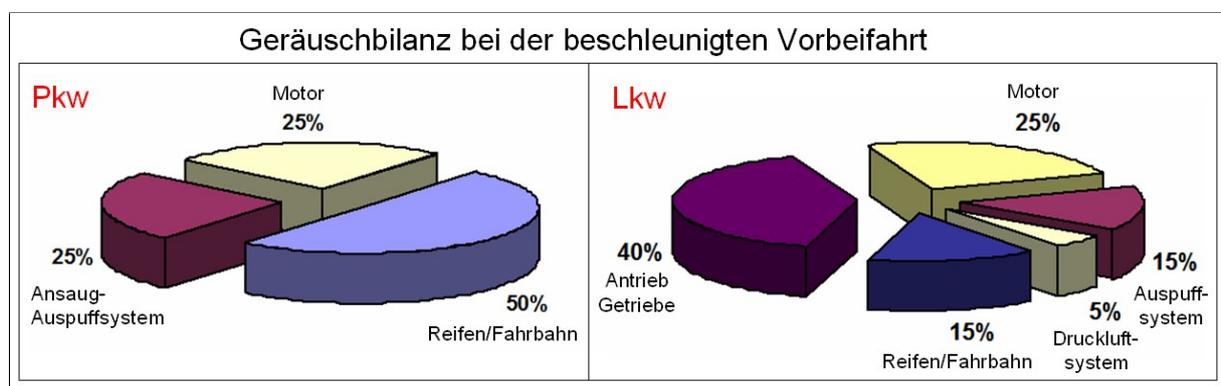
Tabelle 2.1: Rechnerische Schallpegeldifferenzen bei Veränderung der Verkehrsstärke (nach [3])

REDUKTION DER VERKEHRSTÄRKE	SCHALLPEGEL-MINDERUNG	ERHÖHUNG DER VERKEHRSTÄRKE	SCHALLPEGEL-ERHÖHUNG
- 10%	- 0,5 dB(A)	+ 10%	+ 0,4 dB(A)
- 20%	- 1,0 dB(A)	+ 20%	+ 0,8 dB(A)
- 30%	- 1,5 dB(A)	+ 30%	+ 1,1 dB(A)
- 40%	- 2,2 dB(A)	+ 40%	+ 1,5 dB(A)
- 50%	- 3,0 dB(A)	+ 50%	+ 1,8 dB(A)
- 60%	- 4,0 dB(A)	+ 60%	+ 2,0 dB(A)
- 70%	- 5,2 dB(A)	+ 70%	+ 2,3 dB(A)
- 80%	- 7,0 dB(A)	+ 80%	+ 2,6 dB(A)
- 90%	- 10,0 dB(A)	+ 90%	+ 2,8 dB(A)
		+ 100%	+ 3,0 dB(A)

Durch eine Verringerung des Verkehrsaufkommens kann also ein deutlicher Schritt zu einer leiseren Umwelt getan werden.

### 2.3.2.2 Einfluss des Schwerverkehrs

Eine umfangreiche Studie von Lenz et al. [40] aus dem Jahre 1996 zeigt den Unterschied der Geräuschbilanzen von Pkw und Lkw (siehe Abbildung 2.24). Bei der Analyse der gezeigten prozentuellen Aufteilung des Gesamtschallereignisses auf die verschiedenen Schallquellen ist aber zu beachten, dass es sich hier um Ergebnisse aus Messungen nach der Methode der beschleunigten Vorbeifahrt handelt, die mit einer Einfahrtgeschwindigkeit auf einen definierten Messplatz beim Pkw von 50 km/h (siehe ISO 362 [41]) größtenteils die kritische Fahrsituation im städtischen Verkehr nachbilden soll.



**Abbildung 2.24:** Anteil der einzelnen Schallquellen am Gesamtgeräusch eines Pkw bzw. Lkw [40]

Aus den beiden Analysen ist deutlich ersichtlich, dass Lastkraftwagen allein schon aufgrund ihrer Motorisierung und des Antriebssystems deutlich mehr Schallanteile als Personenkraftwagen abstrahlen. Hat das Reifen-Fahrbahn-Geräusch beim Pkw noch einen Anteil von ca. 50% am Gesamtgeräusch, so ist dieser Anteil beim Lkw deutlich niedriger anzunehmen (ca. 15%). Bei der Annahme eines ähnlich großen Rollgeräuschpegels (ohne Berücksichtigung des Motorgeräusches) sowohl beim Pkw als auch beim Lkw zeigt sich somit der dominierende Einfluss des Schwerverkehrs am Gesamtschallereignis des Verkehrs, vor allem im städtischen Bereich. Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten nimmt der Einfluss des Motorgeräusches (und damit auch der Einfluss des Schwerverkehrs) am Gesamtschallereignis ab, bleibt aber immer noch bestehen. So stellt auch auf Autobahnen der Lkw-Verkehr die dominierende Schallquelle dar.

Durch eine Reduktion des Schwerverkehrs (bis hin zu einem kompletten Fahrverbot für Lkw) lässt sich somit die Verkehrslärmbelastung eindeutig verringern. In der RVS 04.02.13 [3] werden die theoretisch möglichen Auswirkungen von Lkw-Fahrverboten bei vorgegebenen Lkw-Anteilen errechnet (siehe Tabelle 2.2). Auch hier zeigt sich der geringer werdende Einfluss des Schwerverkehrs bei einer steigenden Fahrgeschwindigkeit.

Bei den in der Praxis üblicherweise vorkommenden Verkehrszusammensetzungen wird das Lärminderungspotenzial in der RVS 04.02.13 allerdings mit maximal rund 3 dB(A) abgeschätzt [3].

**Tabelle 2.2:** Rechnerische Schallpegeldifferenzen (angegeben in  $L_{A,eq}$ ) durch ein Lkw-Fahrverbot [3]

	GESCHWINDIGKEIT					
	30 km/h		40 km/h		50 km/h	
Lkw- Anteil	10%	5%	10%	5%	10%	5%
90% leichte Lkw 10% schwere Lkw	- 4,0 dB(A)	- 2,3 dB(A)	- 2,6 dB(A)	- 1,5 dB(A)	- 1,9 dB(A)	- 1,0 dB(A)
25% leichte Lkw 75% schwere Lkw	- 6,3 dB(A)	- 4,0 dB(A)	- 4,3 dB(A)	- 2,6 dB(A)	- 3,3 dB(A)	- 1,8 dB(A)

Durch die Weiterentwicklung von so genannten lärmarmen Lastkraftwagen<sup>(e)</sup> kann dieser Pegelwert noch weiter nach unten korrigiert werden. Dies erscheint auch realistisch, da neu zugelassene Schwerfahrzeuge in der Regel den derzeit gültigen Vorschriften für lärmarme Fahrzeuge entsprechen.

### 2.3.2.3 Einfluss des Fahrzustandes

Der Einfluss des Fahrzustandes auf das Gesamtschallereignis einer Vorbeifahrt ist in einer Vielzahl von Forschungsprojekten in Europa belegt worden (siehe zum Beispiel [1], [12], [43], [44] oder [45]). Durch die erhöhte Motorleistung bei Beschleunigungsvorgängen tritt, vor allem bei niedrigeren Ausgangsgeschwindigkeiten, ein intensiveres Schallereignis als bei einer Konstantfahrt zu Tage.

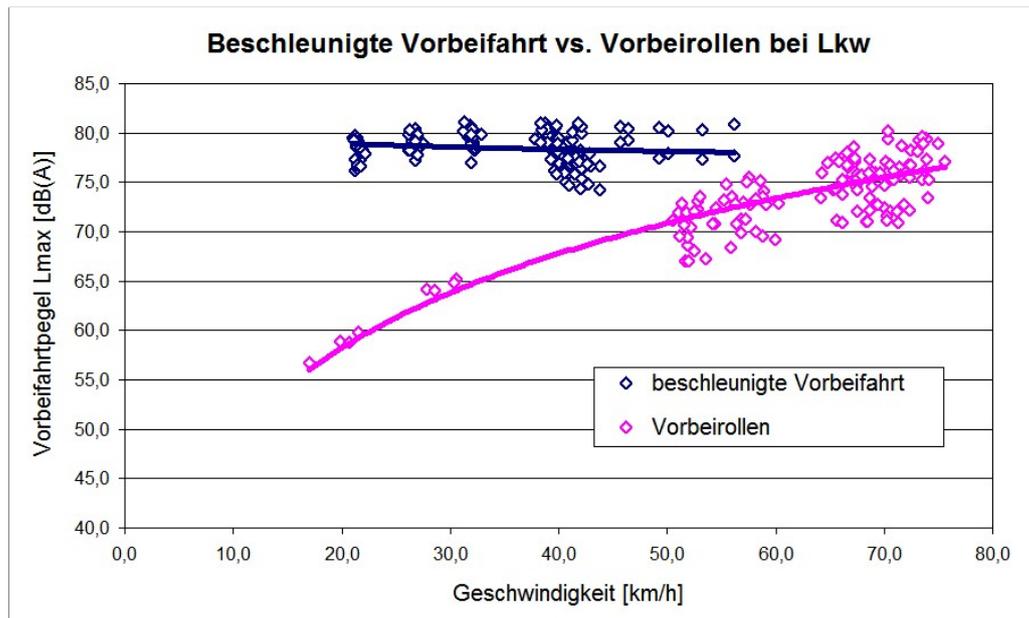
In einem österreichischen Forschungsprojekt (Schirm "Lärmarme Straße" [44], [45] und [46]), das im Jahr 1997 fertiggestellt wurde, sind insgesamt über 20.000 Vorbeifahrten, sowohl von Pkw als auch von Lkw, an einer Versuchsstrecke bestehend aus 6 verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen durchgeführt worden. Dabei fanden ebenso Messungen nach der Methode der beschleunigten Vorbeifahrt statt.

In Abbildung 2.25 sind Ergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen von Lkw's nach der Methode der beschleunigten Vorbeifahrt im Vergleich zu Vorbeirollmessungen, bei denen durch Auskuppelung der Einfluss des Motors auf den Schallpegel ausgeschaltet wird, dargestellt. Bei dem Messverfahren nach der Methode der beschleunigten Vorbeifahrt, das in der ISO 362 [41] geregelt ist, wird das Vorbeifahrtgeräusch eines Kraftfahrzeuges im Zustand der maximal möglichen Motorbelastung gemessen. Nach einer Anfahrt mit konstanter Geschwindigkeit wird das Versuchsfahrzeug in unmittelbarer Nähe des Messplatzes (der Messmikrofone) einer maximalen Beschleunigung unterworfen. Beim Lkw erfolgt die Messung prinzipiell im 2. oder 3. Gang, was zu einer sehr hohen Motorbelastung führt. Die Mikrofone sind dabei rechts und links der Fahrbahn angebracht und befinden sich in einem Abstand von 7,5 m zur Fahrstreifenmitte und in einer Höhe von 1,2 m.

Die in violett dargestellte Regressionskurve (Vorbeirollen) zeigt einen ziemlich gleichmäßigen Pegelanstieg des maximalen Vorbeifahrtpegels mit steigender Fahrgeschwindigkeit. Die Messergebnisse bei der beschleunigten Vorbeifahrt hingegen zeigen einen völlig anderen Geschwindigkeits-Schallpegel-Verlauf. Bei niedrigen Geschwindigkeiten ist somit der Ein-

<sup>e</sup>Ein Lkw wird gem. ÖAL-Richtlinie 29 [42] dann als lärmindernd bezeichnet, wenn sein maximaler Vorbeifahrtpegel nach der Messmethode der beschleunigten Vorbeifahrt kleiner als 80 dB(A) ist.

fluss des Fahrzustandes (des Beschleunigungsvorganges) stark dominierend gegenüber dem reinen Rollgeräusch, der Motor spielt also die Hauptrolle bei der Entstehung des Gesamtschallpegels. Erst ab Geschwindigkeiten von ca. 80 km/h übernimmt das Rollgeräusch den dominierenden Part. Beim Pkw ist dieses Verhältnis nicht ganz so ausgeprägt, ab Fahrgeschwindigkeiten von ca. 30-50 km/h hat das Rollgeräusch den Hauptanteil am Gesamtgeräusch, Beschleunigungsereignisse spielen somit bei höheren Geschwindigkeiten (bei der Wahl des geeigneten Ganges) keine dominierende Rolle mehr (natürlich kann durch extremes Herunterschalten der Motor zum Aufheulen gebracht werden, allerdings stellt diese Gegebenheit sicher nicht den Normalzustand dar).



**Abbildung 2.25:** Einfluss von Beschleunigungsvorgängen auf das Vorbeifahrtgeräusch von Lkw's an einer Teststrecke mit Splittmastixasphalt (Auswertung der Daten aus [45])

#### 2.3.2.4 Einfluss der Straßenlängsneigung

Aufgrund von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen an Steigungs- und Gefällestrrecken liegen die Schallemissionen in diesen Bereichen höher als bei ebenen Straßenabschnitten. Beim Pkw ist dieser Einfluss ab einer Steigung von ca. 8-9% bemerkbar, wobei beim Lkw schon ab einer Steigung von 4% signifikante Lärmpegelerhöhungen zu registrieren sind.

In der österreichischen Berechnungsmethode zur Bewertung von Straßenverkehrslärm, die in der RVS 04.02.11 [9] beschrieben ist, wird der Einfluss von Steigung und Gefälle auf das Gesamtschallereignis eines vorbeifahrenden Kraftfahrzeuges durch einen Kennwert  $K_L$  gekennzeichnet. Dieser Kennwert ist abhängig von der Längsneigung und dem Kraftfahrzeugtyp in Abbildung 2.26 dargestellt.

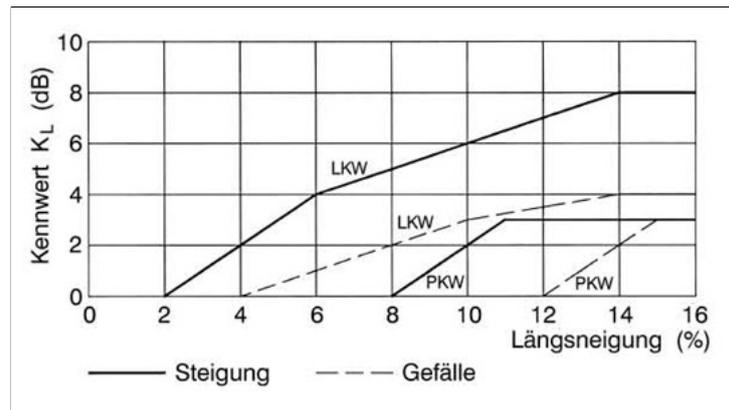


Abbildung 2.26: Kennwerte für den Einfluss der Straßenlängsneigung [9]

Ein interessantes Ergebnis konnte durch Analysen, die im Rahmen des EU-Projektes SILVIA durchgeführt wurden (siehe [47]), gewonnen werden. In Abbildung 2.27 ist der maximale Vorbeifahrtpegel von Pkw und Lkw sowie die gefahrene Geschwindigkeit in Steigungs- bzw. Gefällestrecken dargestellt. Hier zeigt sich - besonders beim Lkw - kein signifikanter Anstieg der Lärmpegel (in roter Farbe dargestellt) mit ansteigender Längsneigung der Straße, da je nach Größe der Steigung/des Gefälles ebenso die gefahrene Geschwindigkeit (in schwarzer Farbe dargestellt) variiert.

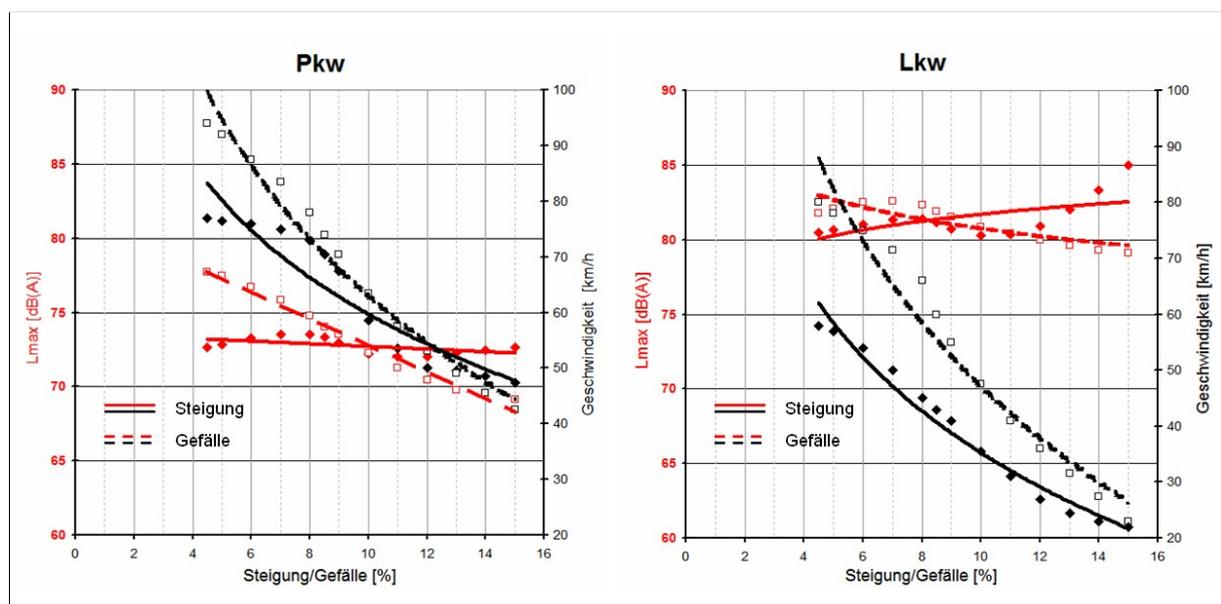


Abbildung 2.27: Einfluss von Steigung/Gefälle und Fahrgeschwindigkeit auf den maximalen Vorbeifahrtpegel bei Pkw bzw. Lkw (nach [47])

Dieselben Tendenzen wurden in einer Studie von Haberl et al. [12] durch Analysen verschiedener Verkehrssituationen nachgewiesen. Dabei wurde unter anderem die Situation einer Autobahn in alpinem Gelände mit der einer Autobahn in der Ebene verglichen. Betrachtet man dabei die realen Geschwindigkeitssituationen vor Ort, die Fahrgeschwindigkeit an Steigungsstrecken ist dabei deutlich niedriger als jene in der Ebene anzusetzen, so lassen sich keine nennenswerten Unterschiede in den Schallemissionen beider Verkehrssituationen erkennen. Somit scheint der Einfluss der Geschwindigkeit bei diesem Vergleich eine entscheidende Rolle zu spielen, da die Schalldruckpegelanstiege durch eine Reduktion der Fahrgeschwindigkeit an Steigungsstrecken den Schalldruckpegelanstieg durch ein höheres

Motorgeräusch infolge stärkerer Beschleunigungsvorgänge kompensieren können (detaillierte Informationen siehe [12]).

### 2.3.2.5 Weitere Einflussparameter

Neben den “technischen“ Einflussparametern auf das Gesamtschallereignis aus dem Straßenverkehr kann ebenso der Fahrer/die Fahrerin des Kraftfahrzeuges den Vorbeifahrtschallpegel stark mitgestalten. Durch eine gleichmäßig gewählte Fahrweise sind nach [3] im Mittel Schallpegelminderungen um 1 - 2 dB(A) möglich.

Das Erreichen eines niedrigen Geschwindigkeitsniveaus allein ist somit keine direkte Garantie für eine hörbare Lärminderung. Besonders im innerorts üblichen Geschwindigkeitsbereich ist die Lärminderung durch gleichmäßige Fahrverläufe (Vermeiden von unnötigen Brems- und Beschleunigungsvorgängen) sowie durch eine niedertourige Fahrweise entscheidend, da hier die Antriebsgeräusche gegenüber den Rollgeräuschen meist dominieren. In der RVS 04.02.13 wird das Minderungspotenzial durch eine niedertourige Fahrweise für Pkw mit bis zu 5 dB(A), für Lkw mit maximal 3 dB(A) und für Motorräder mit bis zu 8 dB(A) beziffert [3].

Im Rahmen eines vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung durchgeführten Forschungsprojektes wurden statistische Vorbeifahrtmessungen in Tempo 30-Zonen durchgeführt (siehe [48]). Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Abbildung 2.28 dargestellt.

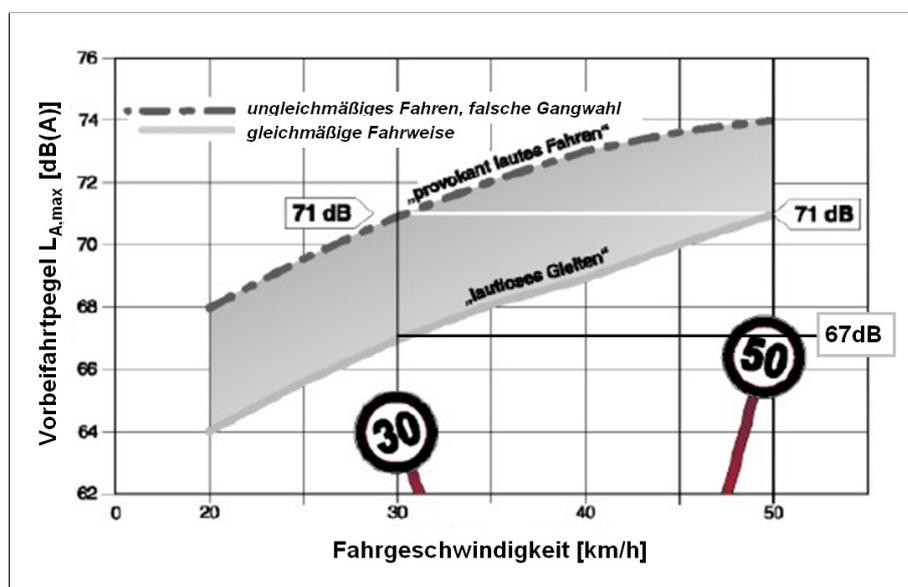


Abbildung 2.28: Einfluss von Tempo 30-Zonen auf das Vorbeifahrtgeräusch von Pkw (nach [48])

Eindeutig zu erkennen ist hier das Lärminderungspotenzial von bis zu 4-5 dB(A) der Maßnahme der Einführung einer Tempo 30-Zone im Vergleich zu einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h. Allerdings ist auch zu erkennen, dass diese Pegelminderungen nur dann in der Praxis erreicht werden können, wenn sich die Fahrweise der Verkehrsteilnehmer nicht signifikant ändert, denn: der maximale Vorbeifahrtschallpegel der Fahrweise “lautloses Gleiten“ bei 50 km/h entspricht ziemlich genau dem maximalen Vorbeifahrtschallpegel der Fahrweise “provokant lautes Fahren“ bei 30 km/h in Abbildung 2.28.

Eine gleichmäßige Fahrweise durch Vermeiden von abrupten Brems- und Beschleunigungs-

vorgängen sowie eine niedertourige Fahrweise der Verkehrsteilnehmer ist somit Voraussetzung, das Ziel, den Straßenverkehrslärm zu verringern, erreichen zu können. Es muss daher bei der Implementierung von Lärmreduktionsmaßnahmen immer versucht werden, die Akzeptanz für diese Maßnahmen zu erreichen. In der RVS 04.02.13 [3] wird dafür folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

- Information und Beteiligung der Öffentlichkeit
- Vermitteln der Sinnhaftigkeit der Maßnahmen, z.Bsp. Tempo 30- Zonen in Wohngebieten oder besonders niedrige Geschwindigkeiten bei entsprechenden Nutzungsansprüchen (Schulen, Krankenhäuser, Seniorenheime, ...)
- Erzielen der Wirkung durch weiche Maßnahmen (optische Gliederung anstelle des linearen Straßenraumes)
- Vermeidung harter Maßnahmen (z.Bsp. Schwellen, grobes Pflaster)
- dichte Folge von Einzelmaßnahmen mit maximalen Abschnittslängen ca. 40 - 70 m, um Beschleunigungsvorgänge zwischen den Maßnahmen zu vermeiden

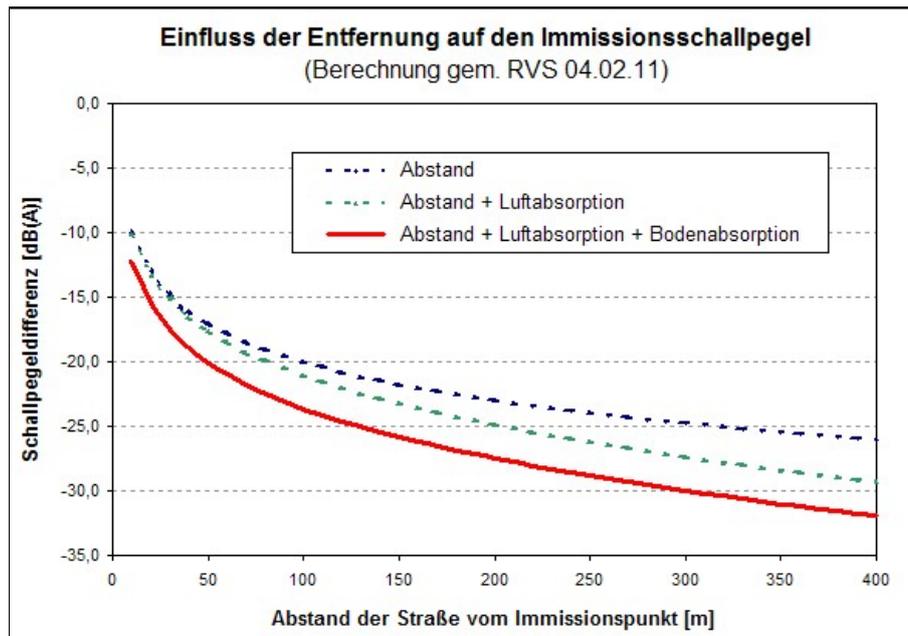
### 2.3.3 Einflussfaktoren bei der Schallausbreitung

Nicht nur die Gegebenheiten vor Ort, am Emissionspunkt bzw. direkt an der Straße, sondern ebenso die Bedingungen zwischen Emissionspunkt und Immissionspunkt, an dem das Schallereignis schließlich einwirkt, spielen eine enorme Rolle für das Lärmempfinden der im Nahbereich der Verkehrswege lebenden und arbeitenden Menschen.

Grundsätzlich nimmt der Schallpegel mit steigender Entfernung vom Emissionsort ab. Weißenberger [49] gibt eine überschlägige Verringerung der Schallimmissionspegel in 50 m Abstand gegenüber denen in 25 m Abstand von der Straße unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren von ca. 4 dB(A) an.

In der RVS 04.02.11 [9] werden für die Lärmausbreitungsberechnung ebenso Faktoren für die topographischen Gegebenheiten der Umgebung mitberücksichtigt. In Abbildung 2.29 ist der Einfluss der Entfernung sowie der Luftabsorption bei freier Schallausbreitung, das heisst, ohne direkte Hindernisse am Ausbreitungsweg, auf den Gesamtschallpegel für die Annahme einer langen, geraden Straße dargestellt.

Es ist erkennbar, dass auf den ersten 100 m Entfernung von der Straße eine starke Pegelabnahme aufgrund von Entfernung und Luftabsorption stattfindet. Bei freier Schallausbreitung lässt sich diese Pegelminderung mit ca. 23 dB(A) - bei 100 m Entfernung vom Schallerreger - angeben. Bis 200 m Entfernung lassen sich noch weitere 5 dB(A) Pegelverringerung dazuzählen. Bei größeren Abständen des Immissionspunktes von der Straße ist schließlich eine lineare Pegelabnahme von ca. 2 dB(A) pro 100 m zusätzlicher Entfernung anzunehmen.



**Abbildung 2.29:** Einfluss von topographischen Gegebenheiten (Abstand von der Schallquelle, Luftabsorption und absorbierende Bodendämpfung) auf das Vorbeifahrtgeräusch (nach [9])

Insgesamt werden in der österreichischen Methode zur Berechnung der Schallimmissionen aus dem Straßenverkehr (RVS 04.02.11) folgende Parameter zur Berechnung des Schallimmissionspegels aus dem Straßenverkehr berücksichtigt [9]:

- Abstand zur Schallquelle,
- Luftabsorption,
- Vegetationsdämpfung,
- Bodendämpfung,
- Abschirmung durch Hindernisse und
- Geländeform.

Aber auch unterschiedliche Wetterbedingungen wie zum Beispiel

- Temperatur,
- Windrichtung,
- Windstärke,
- Inversionswetterlage oder
- Nebel

spielen eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Berechnung der Schallimmissionen.

### 3. KAPITEL

# MÖGLICHKEITEN DER LÄRMREDUKTION IM STRASSENVERKEHR

## 3.1 Grundlagen

Wie bereits in Abschnitt 2.3 dieser Arbeit beschrieben, hängt das Schallereignis eines vorbeifahrenden Fahrzeuges von vielen verschiedenen Faktoren ab, die schließlich auch die Grundlage bei der Entwicklung von Lärmreduktionsmaßnahmen darstellen. Prinzipiell lassen sich Schallereignisse nach dem Ort des Auftretens des Schalls zwischen Schallemissionen und Schallimmissionen unterscheiden. In der RVS 04.02.11 [9] werden dafür folgende Begriffsbestimmungen definiert:

- Die *Schallemission* ist der von einer punktförmigen, linienförmigen oder flächenhaften Schallquelle abgestrahlte Schall.
- Die *Schallimmission* ist die Einwirkung von Schall am Immissionsort. Sie wird durch den Schallpegel, der sich aus der Schallemission unter Berücksichtigung der Ausbreitungsbedingungen ergibt, errechnet.

Die Schallemission stellt also den Schallpegel direkt an der Schallquelle dar, während unter der Schallimmission der Schallpegel am Einwirkungsort des Schalles verstanden wird. Lärmreduktionsmaßnahmen lassen sich somit, abhängig davon, ob sie Schallemissionen oder Schallimmissionen verringern sollen, in die zwei Kategorien

- primäre Lärmreduktionsmaßnahmen und
- sekundäre Lärmreduktionsmaßnahmen

einteilen. Primäre Lärmreduktionsmaßnahmen zielen darauf ab, den entstehenden Lärm an seiner Quelle zu minimieren. Dabei wird versucht, sowohl die Schallanregung als auch die Schallabstrahlung im Nahbereich des Schallerregers zu verringern. Hierzu zählen vor allem Maßnahmen direkt am Fahrzeug oder an der Fahrbahndeckschicht wie zum Beispiel Kapselungsmaßnahmen am Motor oder der Einsatz von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten.

Ist im Gegensatz dazu der Lärm bereits entstanden, bleibt zur Reduktion der Schallimmissionen einerseits, die Schallausbreitung zu behindern (zum Beispiel durch Lärmschutzwände und Lärmschutzwälle oder -dämme) oder andererseits, die Schallausbreitung zu verhindern (zum Beispiel durch Einhausungen der Verkehrswege).

Als letzte Maßnahme stehen schließlich noch Lärmschutzfenster zur Verfügung, die die Einwirkungen des Schalles direkt am Immissionsort verhindern können. Allerdings sind durch den Einsatz von Lärmschutzfenstern nur die Innenräume der geschützten Wohnungen “betroffen“, Balkone und vor allem Gärten bleiben dem gesamten Lärmpegel ausgesetzt.

Es ergibt sich somit eine Vielfalt an Möglichkeiten, dem Straßenverkehrslärm entgegen wirken zu können. Diese Vielzahl der Maßnahmen zur Reduzierung des Straßenverkehrslärms ist auszugsweise in Abbildung 3.1 dargestellt.



**Abbildung 3.1:** Lärmreduktionsmaßnahmen eingeteilt in ihre Wirkungsweisen

Grundsätzlich erscheint die günstigste Maßnahme zur Lärmbekämpfung die Minderung der Schallemissionen direkt am Entstehungsort zu sein. Bei der Betrachtung der Einflussparameter auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch (siehe Abbildung 2.11) ist auch klar, dass die Initiative zur Lärmreduktion aus dem Straßenverkehr bei der Minimierung des Einflusses dieser Faktoren auf das Gesamtschallereignis beginnen muss. Somit stellt das Reifen-Fahrbahn-Geräusch den Ausgangspunkt für einen Ansatz zu einer effizienten Lärmreduktion im Straßenverkehr dar.

Prinzipiell wird als Reifen-Fahrbahn-Geräusch jener Schall bezeichnet, der durch den auf der Fahrbahnoberfläche abrollenden Reifen hervorgerufen wird und sich über die ihn umgebende Luft ausbreitet [20]. Die Intensität der Hörbarkeit dieses Geräusches an einem bestimmten Ort wird durch drei Komponenten beeinflusst:

- die Schallanregung,
- die Schallabstrahlung und
- die Schallausbreitung.

Im Folgenden werden die verschiedenen Möglichkeiten der Lärmreduktion im Straßenverkehr und die Lärmreduktionspotenziale der Einflussparameter auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch näher dargestellt.

## 3.2 Primäre Lärmreduktionsmaßnahmen

### 3.2.1 Maßnahmen am Fahrzeug

Den Haupteinflussfaktor bei der Lärmentstehung am Kraftfahrzeug stellt der Antrieb dar. Typische Lärminderungspotenziale am Antriebsstrang bestehen durch Maßnahmen am Motor (zum Beispiel durch Kapselungsmaßnahmen), am Getriebe oder durch Verwendung alternativer Antriebssysteme.

Abbildung 3.2 zeigt die Möglichkeit der Lärmreduktion bei der Verwendung von Hybrid- bzw. Elektrofahrzeugen im Vergleich zu dieselbetriebenen Personenkraftwagen. So ist nach Lelong [50] durch den Einsatz von alternativen Antriebssystemen gerade bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten ( $v < 50 \text{ km/h}$ ) ein Reduktionspotenzial von 5 dB(A) bis maximal 15 dB(A) möglich.

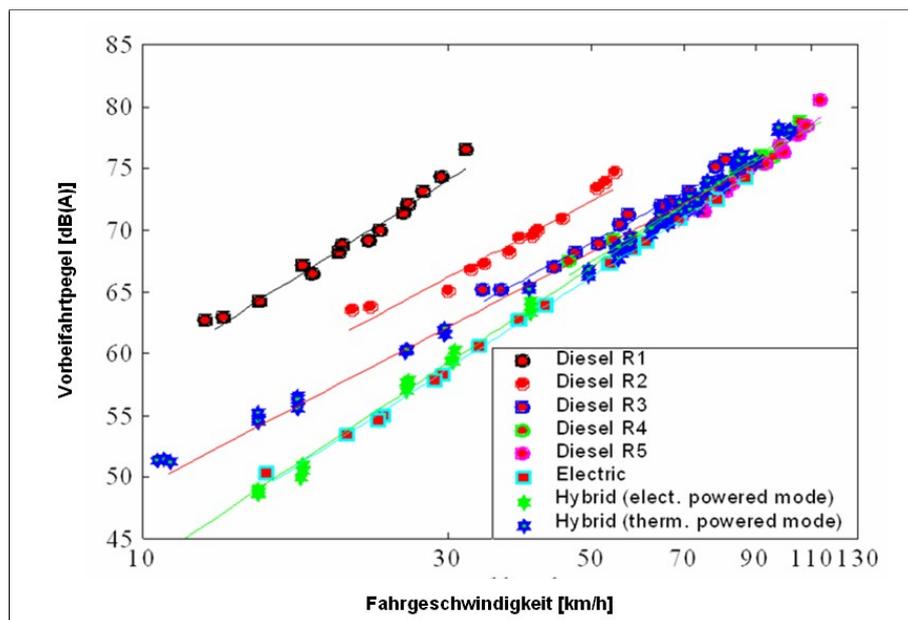


Abbildung 3.2: Lärminderungspotenzial alternativer Antriebssysteme [50]

Kapselungsmaßnahmen am Motor zielen auf die Reduzierung der seitlichen Schallabstrahlung ab. Sie bestehen aus einer speziell strukturierten Vliesverkleidung oberhalb und seitlich des Motors und aus einer Abdichtung von der Frontschürze bis hinter das Getriebe. Durch eine intelligente Auslegung stellt die Temperaturbelastung durch den Motor kein Problem dar, ebenso kann zusätzlich eine deutliche Reduktion des Strömungswiderstandes des Unterbodens erreicht werden.

Lärmreduktionspotenziale beim Getriebe können durch die Optimierung der Verzahnungsauslegung (Überdeckung, Korrekturen, ...) und die Optimierung der Verzahnungsfertigung durch erhöhte Serienqualität und spezielle Maschinenwahl erzielt werden.

Durch eine Feinabstimmung des Antriebsstranges sowie eine Schwingungsisolierung der Anbauteile und Gelenkwellen können weitere Geräuschreduktionen erreicht werden [51].

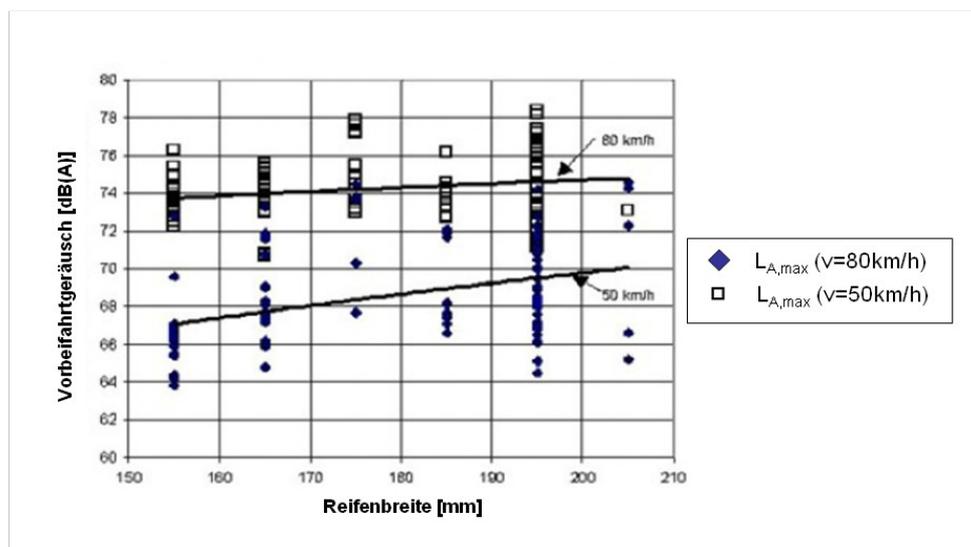
### 3.2.2 Maßnahmen am Reifen

Reifenparameter können das Geräuschniveau des Straßenverkehrs wesentlich beeinflussen. Allerdings ist der Reifen nie allein für die Geräuschentstehung und dessen Ausbreitung verantwortlich. Es ist somit von großer Wichtigkeit, neben der Rolle der einzelnen reifenbezogenen Parameter bei der Vorbeifahrt ebenfalls das Zusammenspiel dieser Reifenparameter mit verschiedenen Arten von Fahrbahndeckschichten zu untersuchen. Im Rahmen des EU-Projektes SILVIA, bei dem eine umfangreiche Datenbank aus Messergebnissen von Rollgeräusch- und Vorbeifahrtmessungen angelegt wurde, ist unter anderem der Einfluss verschiedener Reifenparameter auf das Vorbeifahrtgeräusch untersucht und analysiert worden (siehe [47]). Die wichtigsten Ergebnisse dieser Forschungsarbeit ergänzt durch weitere Analysen sollen nun in kurzer und prägnanter Weise zusammengefasst werden.

#### 3.2.2.1 Einfluss der Reifenbreite

Der Einfluss der Reifenbreite auf den Geräuschpegel bei der Vorbeifahrt wird in der Literatur eindeutig beschrieben: nimmt die Reifenbreite zu, so steigt auch der Geräuschpegel. Diese Zunahme kann mit ungefähr 0,5 dB(A) pro 10 mm höherer Reifenbreite angenommen werden (siehe [21]).

Analysen von gespeicherten Daten aus der SILVIA-Datenbank bei konstanter Vorbeifahrt bestätigen diesen Trend. Speziell wurden dabei Messergebnisse der Forschungseinrichtungen INRETS - Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité - und LCPC - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - von einer Teststrecke in Frankreich, bei der 34 unterschiedliche Reifentypen in den verschiedensten Reifenbreiten auf einer Asphaltbetonoberfläche untersucht wurden (siehe Abbildung 3.3), miteinander verglichen.



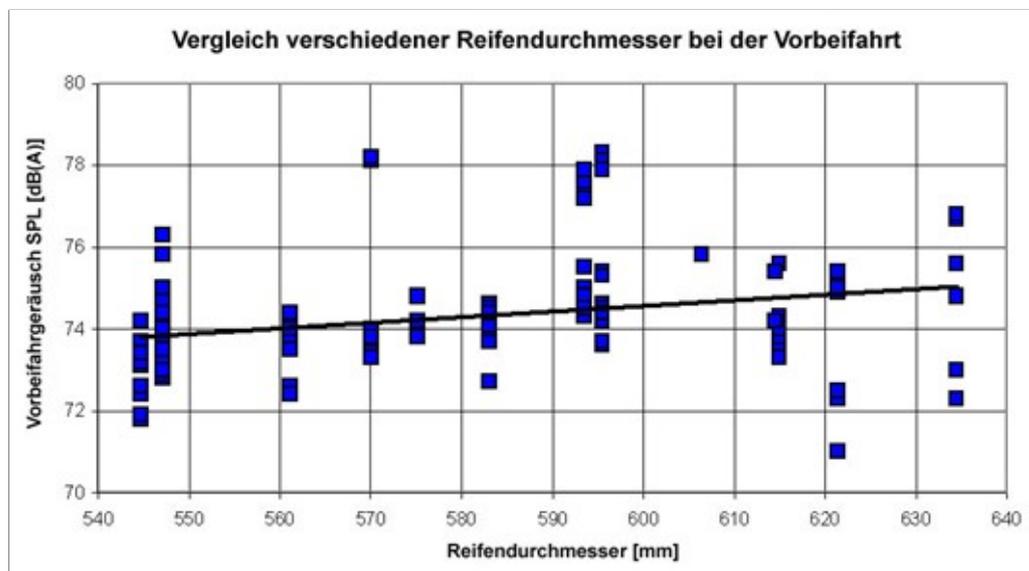
**Abbildung 3.3:** Vorbeifahrtpegel von Pkw-Reifen verschiedener Reifenbreite bei konstanter Vorbeifahrt auf Asphaltbeton, gemessene Geschwindigkeiten: 50 km/h und 80 km/h (nach [47])

Die Ergebnisse zeigen einen eindeutigen Trend. Wird der Reifendurchmesser von 155 mm auf 205 mm erhöht, so erhöht sich der zugehörige maximale Schallpegel der Vorbeifahrt bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h um ca. 3 dB(A). Es zeigt sich somit auch hier die bereits erwähnte Erhöhung der Schallemissionspegel um ca. 0,5 dB(A) pro einer Erhöhung der Reifenbreite um 10 mm.

Bei höheren Geschwindigkeiten zeigt sich dieser Trend nicht mehr so eindeutig, ist aber trotzdem noch erkennbar und um ca. 2/3 geringer als bei 50 km/h.

### 3.2.2.2 Einfluss des Reifendurchmessers

An derselben Teststrecke in Frankreich wurde der Einfluss verschiedener Reifendurchmesser auf das Vorbeifahrtgeräusch untersucht. Die Ergebnisse der Analysen sind in Abbildung 3.4 dargestellt.



**Abbildung 3.4:** Vorbeifahrtpegel von Pkw-Reifen verschiedener Reifendurchmesser bei konstanter Vorbeifahrt auf Asphaltbeton, gemessene Geschwindigkeit: 80 km/h (nach [47])

Die Ergebnisse zeigen, dass eine geringfügige Tendenz in Richtung einer Zunahme der Reifenrollgeräusche bei Zunahme des Reifendurchmessers besteht. Die große Streuung der Messergebnisse lässt aber auf eine hohe Abhängigkeit des Geräuschpegels von anderen Reifenparametern schließen. Somit ist nur ein geringer Trend einer Erhöhung des Geräuschpegels durch eine tatsächliche Erhöhung des Reifendurchmessers aus diesen Analysen ablesbar. Sandberg et al. [30] sprechen ebenso von einer sehr schwach ausgeprägten Korrelation zwischen Reifendurchmesser und Vorbeifahrtgeräusch.

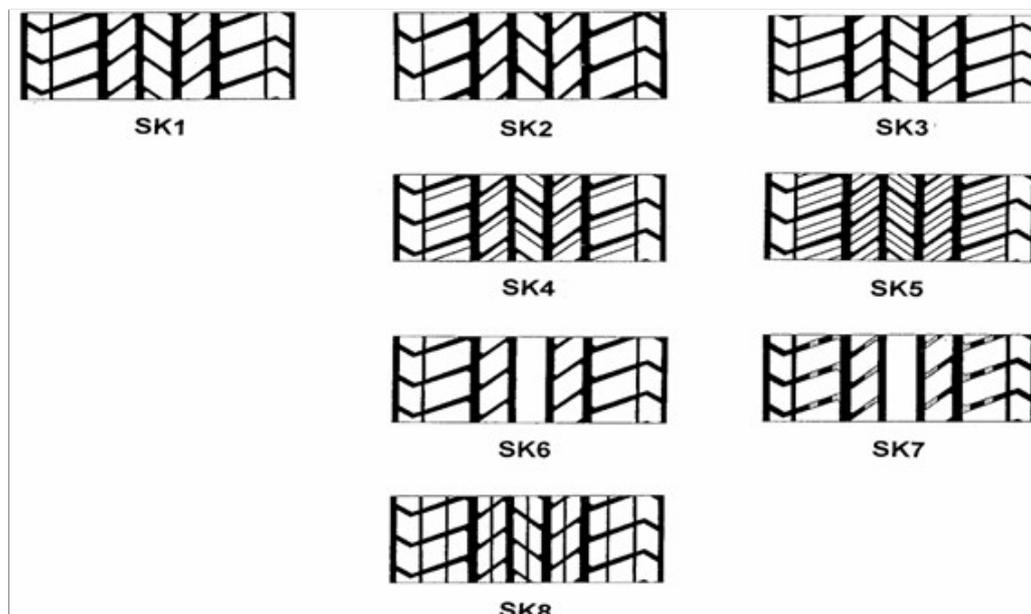
### 3.2.2.3 Einfluss der Reifenprofilgestaltung

Zum Thema Reifenprofilgestaltung gibt es verschiedenste Untersuchungen und Veröffentlichungen (siehe unter anderem [30], [44] oder [47]). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch eine spezielle Anordnung von Längs- und Querrillen ein Lärminderungspotenzial von bis zu ungefähr 2 dB(A) möglich wäre. Prinzipiell lassen sich folgende Grundregeln für einen "leisen" Reifen auflisten:

- Profilklotze, die durch Längs- und Querrillen voneinander getrennt werden (Trend zu umlaufendem Profilband), sind ungünstig für das Geräuschverhalten.
- Eine Erhöhung der Klotzsteifigkeit durch eine geschlossene Mittelrippe verringert das Rollgeräusch.
- Je mehr Querrillen angeordnet werden, um so lauter ist der Reifen.
- Je mehr Rillenvolumen, um so höher ist das Rollgeräusch.
- Eine gleichmäßige Aufteilung der Anpresskraft ist lärmtechnisch günstig.

In Österreich wurden auf einer Teststrecke südlich von Wien im Rahmen des Schirmprojektes “Lärmarme Straße“ [44] umfangreiche Untersuchungen an sechs verschiedenen Fahrbahndeckschichten (lärmmindernde Dünnschichtdecke, Splittmastixasphalt, offener Asphalt (ehem. Drainasphalt), ISO-Fahrbahndeckschicht gem. ISO 10844 [52], Waschbeton und Oberflächenbehandlung auf Beton - EP-Grip) durchgeführt.

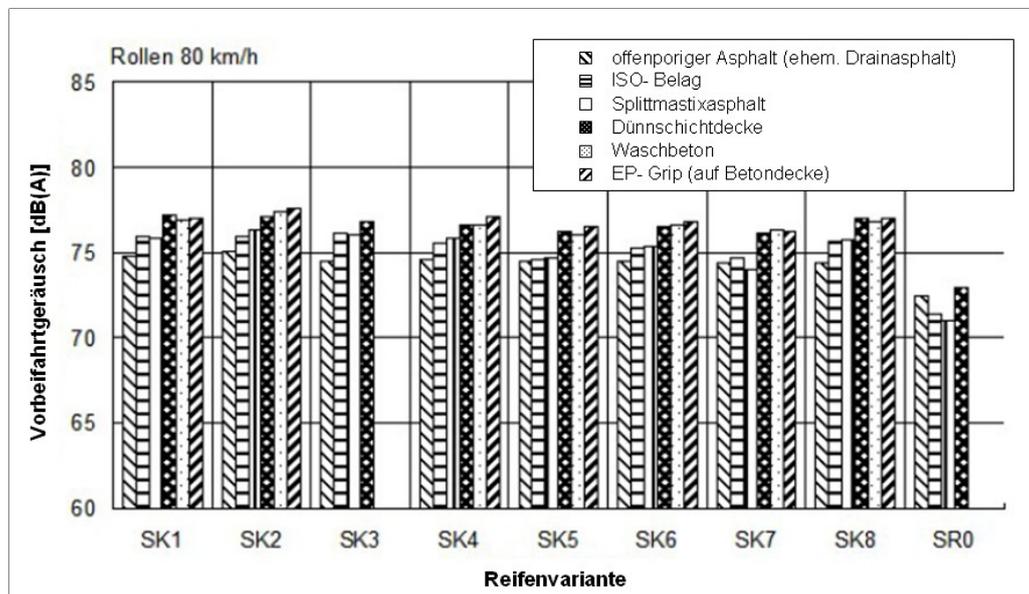
Zur Untersuchung des Einflusses der Reifenprofilgestaltung wurden die in Abbildung 3.5 gezeigten Versuchsreifen untersucht. Die Anzahl der Pitches wurde dabei kontinuierlich von 54 (Reifenvariante SK1) über 64 (Reifenvariante SK2) auf 74 erhöht (Reifenvariante SK3). Mit den Reifenvarianten SK4 und SK5 wurde die Auswirkung einer Lamellierung der Basis SK1 untersucht, wobei bei der Variante SK4 asymmetrische Lamellen eingebracht wurden und bei der Variante SK5 eine so genannte vollständige Lamellierung stattgefunden hat. Bei der Reifenvariante SK6 wurde die Klotzsteifigkeit in der Laufstreifenmitte gegenüber der Basis durch die Einführung einer geschlossenen Mittelrippe erhöht. Eine zusätzlich erhöhte Klotzsteifigkeit wurde beim Versuchsreifen SK7 durch Grunderhebungen im Bereich der seitlichen Profilklotze erreicht. Beim Reifen SK8 wurde die Klotzsteifigkeit schließlich durch eine Umfangsteilung der Klotze verringert.



**Abbildung 3.5:** Profilbilder der Forschungsreifen mit der Reifendimension 195/65 R15 91H [44]

Die Auswirkung der vorgenommenen Reifenprofilierungen auf das Vorbeifahrtgeräusch beim Rollen auf den verschiedenen Fahrbahndeckschichten mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h ist in Abbildung 3.6 dargestellt. Als Referenzreifen wurde zusätzlich ein Glattreifen (SR0) in die Analysen miteinbezogen.

Die in Abbildung 3.6 gezeigten Messergebnisse zeigen relativ geringe Pegelschwankungen auf. Nur der Glattreifen (SR0) sticht mit bis zu 2-3 dB(A) geringeren Schallpegeln im Vergleich zu den anderen Reifentypen heraus. Vor allem ergibt die Veränderung der Anzahl der Pitches (SK1 bis SK3) nur einen geringen Einfluss auf das Geräuschverhalten bei der Vorbeifahrt.



**Abbildung 3.6:** Maximaler Schalldruckpegel der Versuchsreifen mit Variation der Klotzsteifigkeit (SK1 - SK8) und des Referenzreifens S0 beim Rollen mit 80 km/h auf 6 verschiedenen Fahrbahndeckschichten (nach [44])

Im Gegensatz dazu kann durch eine sinnvolle Lamellierung des Basisreifens eine eindeutige Pegelreduzierung erreicht werden (SK4 und SK5); auf allen Fahrbahndeckschichten liegt der Schalldruckpegel der Variante SK4 unter der der Basis SK1. Die Reifenvariante SK5 weist ein weiter verringertes Vorbeifahrtgeräusch auf. Der maximale Pegelunterschied ist mit 1,5 dB(A) am ISO-Belag am größten und mit 0,2 dB(A) auf dem einlagigen offenporigen Asphalt (ehem. Drainasphalt) am geringsten.

#### 3.2.2.4 Einfluss der Beladung und des Reifenfülldruckes

Die Auswirkungen einer Belastungsänderung der Reifen (zum Beispiel durch eine Erhöhung oder Verringerung der Beladung eines Lastkraftwagens) wurde ebenfalls an der bereits erwähnten Teststrecke in Österreich untersucht. Bei der Analyse wurden Versuchsreifen mit einer Dimension von 175/70 R13 82T berücksichtigt. Gemäß der Typisierung von Reifen laut EU-Richtlinie 92/23/EWG [53] wurden diese Reifen jeweils mit 70% bis 90% ihrer Tragfähigkeit belastet, bei einer gleichzeitigen Absenkung des Reifenfülldruckes von 2,1/1,9 bar für den unbeladenen auf 1,6/1,7 bar für den beladenen Zustand.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihen sind in Abbildung 3.7 dargestellt und ergeben ein tendenziell unterschiedliches Geräuschverhalten auf den verschiedenen untersuchten Fahrbahndeckschichten. Auf der lärmindernden Dünnschichtdecke wird für alle Reifenvariationen, mit Ausnahme des Reifensatzes SM6, bei dem keine Geräuschdifferenz auftrat, ein geringeres Vorbeifahrtgeräusch im belasteten Zustand ermittelt. Auf dem Splittmastixasphalt kann man nach den vorliegenden Ergebnissen davon ausgehen, dass eine Beladung

des Fahrzeugs keine Auswirkung auf das Rollgeräusch hat. Auf den restlichen 4 Fahrbahndeckschichten (offenporiger Asphalt (ehem. Drainasphalt), ISO-Belag, Waschbeton und EP-Grip) ist eine Erhöhung des Schalldruckpegels von bis zu 1 dB(A) zu erkennen.

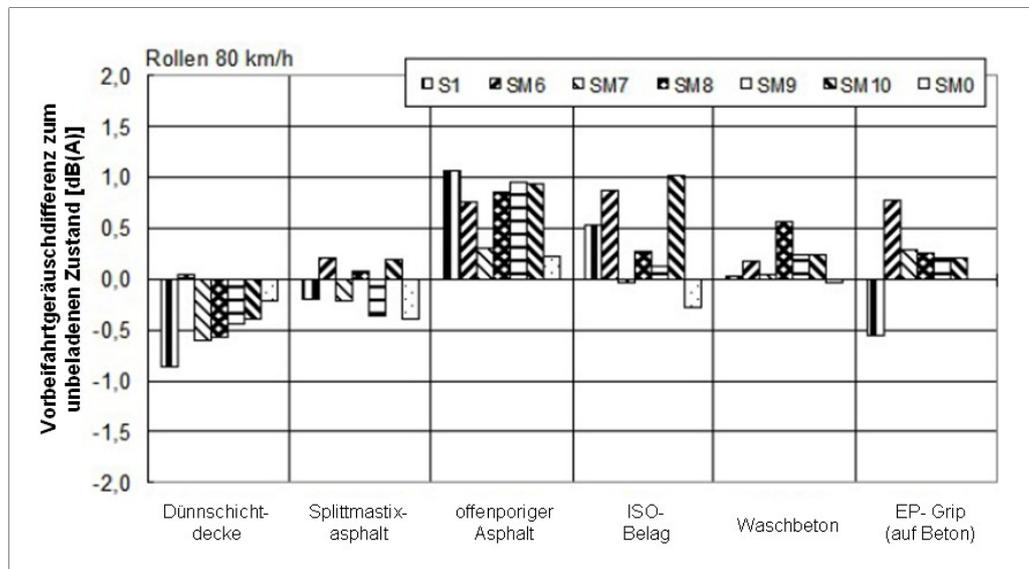


Abbildung 3.7: Vorbeifahrtgeräuschdifferenz zwischen beladenem und unbeladenem Lastkraftwagen, Rollen mit 80 km/h auf 6 verschiedenen Fahrbahndeckschichten (nach [14])

### 3.2.3 Maßnahmen an der Fahrbahndeckschicht

#### 3.2.3.1 Grundlagen der Deckschichtoptimierung

Eine Optimierung der Eigenschaften einer Fahrbahndeckschicht hinsichtlich einer Reduktion der Lärmemission aus dem Straßenverkehr geschieht immer unter Berücksichtigung mehrerer unterschiedlicher Entwicklungsparameter, die die Deckschichtoptimierung unter Umständen auch jeweils in genau entgegengesetzte Richtungen führen können. Als Grundlage jeglicher Optimierung sind jeweils die drei wesentlichen Parameter einer umweltgerechten Straßenbautechnik

- Verkehrssicherheit,
- Umweltverträglichkeit und
- Wirtschaftlichkeit

zu berücksichtigen.

Diese Einschränkungen bei der Entwicklung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten führen zwangsweise zu Kompromissen, die eine Umsetzung der in akustischer Sicht bestgeeigneten Oberflächentextur womöglich nicht uneingeschränkt zulassen (können) [54]. Es gilt, einen Kompromiss zwischen den Anforderungen an Griffigkeit (bzw. Verkehrssicherheit) und der Minderung von schallemittierenden Reifenschwingungen zu finden.

Zusätzlich kann es durch die komplexen Mechanismen der Schwingungsanregung ebenso zu gegenläufigen Effekten kommen. Während eine glatte, dichte Fahrbahnoberfläche die Geräusche hervorgerufen durch auftretende Air-Pumping-Effekte tendenziell erhöht,

werden die Membranschwingungen des Reifens durch eine glatte Oberfläche tendenziell verringert. Zur Ausbildung von wirkungsvollen lärmindernden Fahrbahndeckschichten ist es daher notwendig, vor allem diesen beiden Phänomenen zu begegnen. Dies geschieht durch die Anwendung zweier grundsätzlicher Vorgehensweisen bei der Deckschichtoptimierung:

- Ausbildung einer texturoptimierten dichten Fahrbahndeckschicht
- Einsatz einer offenporigen Fahrbahndeckschicht

### 3.2.3.2 Die texturoptimierte dichte Fahrbahndeckschicht

Die geometrische Oberflächenstruktur einer Fahrbahndeckschicht, die so genannte Oberflächentextur, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Schallentstehung. Sie wird durch die zwei Parameter Wellenlänge und Profiltiefe charakterisiert (siehe auch Abbildung 2.17 in Abschnitt 2.3.1.4). Akustisch gesehen kann der Einfluss der Oberflächentextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch folgendermaßen beschrieben werden:

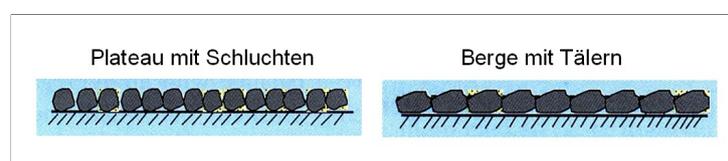
- Im Wellenlängenbereich von 10 bis 500 mm nimmt mit wachsender Amplitude das Rollgeräusch, vornehmlich im Frequenzbereich unter 1000 Hz, infolge mechanischer Schallanregungen am Reifen erheblich zu.
- Im Wellenlängenbereich von 0,5 bis 10 mm nimmt das Rollgeräusch, vornehmlich bei hohen Frequenzen ( $> 1000$  Hz), mit zunehmender Amplitude ab, da aerodynamische Schallanregungen infolge besserer Entlüftung des Reifenprofils reduziert werden können.
- Im Mikrotexturbereich nimmt bei sehr dichten Oberflächen die Adhäsion zwischen Reifen und Fahrbahn zu, wodurch stark hochfrequente Geräuschemissionen entstehen.

Die größte Bedeutung für die Entstehung von Geräuschemissionen weisen Texturwellenlängen im Bereich zwischen 2 und 200 mm, der so genannten Makro- bzw. Megatextur, auf. Dieser Wellenlängenbereich entspricht etwa den Abmessungen der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahndeckschicht.

Die Oberflächentextur einer Fahrbahnoberfläche ist durch eine räumliche Verteilung unterschiedlicher Profiltiefen und Texturwellenlängen charakterisiert. Je nach Art und Zusammensetzung der verwendeten Baustoffe und des Einbauverfahrens treten auch unterschiedliche Ausbildungen auf. Prinzipiell kann zwischen zwei wesentlichen Typen unterschieden werden:

- der tendenziell konkaven Oberflächenausbildung (“Plateaus mit Schluchten“) und
- der tendenziell konvexen Oberflächenausbildung (“Berge mit Tälern“).

Abbildung 3.9 zeigt diese beiden Typen der Oberflächenausbildung.



**Abbildung 3.8:** Unterschiedliche Oberflächenausbildungen von Fahrbahndeckschichten [34]

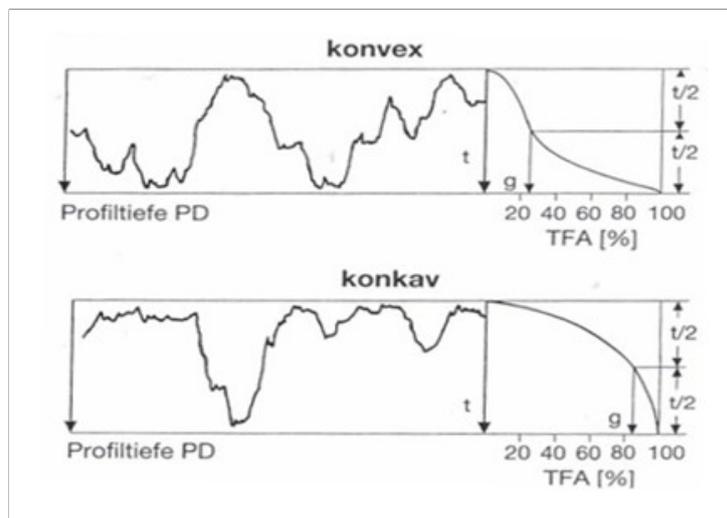
Beckenbauer [20] beschreibt die unterschiedliche Gestalt (konkav und konvex) der Oberflächenausbildung in einem so genannten Gestaltfaktor  $g$  und definiert diesen folgendermaßen [20]:

*Zuerst wird die Tragflächenkurve gebildet. Sie gibt an, welcher Tragflächenanteil TFA in % bei einer bestimmten relativen Profiltiefe erreicht wird. An der tiefsten Stelle des Profils beträgt der Tragflächenanteil dementsprechend 100%.*

*Der Verlauf der beiden Linien für die Tragflächenanteile (aus Abbildung 3.9) ist bei den beiden Gestalttypen sehr unterschiedlich und daher charakteristisch. Durch Abgreifen des Wertes des Tragflächenanteils bei der halben maximalen Profiltiefe  $t/2$  entsteht ein Maß zur Kennzeichnung der Gestalt der Textur, das als Gestaltfaktor  $g$  bezeichnet wird.*

*Hohe  $g$ -Werte kennzeichnen dabei tendenziell konkave Texturen, niedrige  $g$ -Werte tendenziell konvexe.*

Abbildung 3.9 zeigt die Definition des Gestaltungsfaktors. Die dargestellte Länge des Profils von 100 mm entspricht dabei ungefähr der Länge der Aufstandsfläche eines Reifens auf der Fahrbahndeckschicht.



**Abbildung 3.9:** Definition des Gestaltungsfaktors  $g$  [20]

Bei der texturoptimierten dichten Fahrbahndeckschicht wird versucht, die Texturwellenlängen derart zu verkleinern, dass einerseits die Anregung des Reifens zu Schwingungen gering gehalten wird, andererseits jedoch noch genügend freier Raum an der Oberfläche bleibt, um die Entlüftung des Reifenprofils zu ermöglichen [54].

Beckenbauer und Scheuren [55] geben dabei folgende Vorschläge für eine lärmtechnische Optimierung einer Fahrbahndeckschicht an:

- maximale Profiltiefe von 0,06-0,2 mm
- maximale Texturwellenlänge von 4-8 mm
- minimaler Gestaltungsfaktor von 60%

Dies bedeutet für die Entwicklung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten, dass Oberflächen mit einer geringen Makrotextur anzustreben sind. Dabei muss allerdings das Luftdrainagevermögen ausreichend groß sein, damit aerodynamische Schallemissionen in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn möglichst vermieden werden können.

Ziel der akustischen Texturoptimierung von Fahrbahndeckschichten ist es somit, konkave Texturen zu erreichen, die ebene Oberflächen ohne herausragende Spitzen bilden, die aber ebenso den Anforderungen an die Fahrbahngriffigkeit genügen (“Plateaus mit Schluchten“). Diese Vorgaben der Optimierung lassen sich beispielsweise durch die Wahl eines möglichst kleinen Größtkornes erreichen. Ein maximales Größtkorn kleiner als 8 mm bis hin zu 4 mm wäre lärmtechnisch ideal. Oft zeigt sich aber das Problem, dass bei diesen geringen Korngrößen (vor allem bei 4 mm) die Einhaltung der geforderten Griffigkeitswerte bei Nässe und hohen Geschwindigkeiten nicht bleibend sichergestellt werden kann.

Eine geringe Profiltiefe der Fahrbahndeckschicht sorgt dafür, dass die mechanische Anregung des Reifens im tieffrequenten Bereich reduziert wird, lärmtechnisch betrachtet wäre hier also eine glatte Oberfläche ideal. Allerdings ist darauf zu achten, dass glatte Oberflächen erhöhte Air-Pumping-Effekte und damit stärkere hochfrequente Schwingungen hervorrufen. Die Einhaltung einer ausreichenden Profiltiefe, um Air-Pumping-Effekte zu vermindern, ist somit unbedingt notwendig.

Das Optimierungsziel für eine texturoptimierte lärm mindernde Fahrbahndeckschicht lässt sich somit in einem Punkt zusammenfassen:

Es ist eine konkave Oberfläche aus möglichst vielen Profilspitzen mit möglichst großen Profiltiefen herzustellen.

### *3.2.3.3 Die offenporige Fahrbahndeckschicht*

Die lärm mindernde Wirkung einer offenporigen Fahrbahndeckschicht (Porous Asphalt, Drainasphalt) beruht sowohl auf der Textur als auch auf den schallabsorbierenden Eigenschaften. Bei der akustischen Optimierung wird versucht, durch den Einsatz einer speziellen Komposition der Sieblinie den Hohlraumgehalt der Fahrbahndeckschicht zu erhöhen. Die Offenporigkeit wird dabei durch das Weglassen der Feinkornanteile im Mischgut erzielt. Es entsteht ein so genanntes Monokorngerüst, das sich zu über 80% aus der größten Kornfraktion zusammensetzt. Dadurch werden miteinander vernetzte Hohlräume gebildet, die den Hohlraumgehalt der gesamten Fahrbahndeckschicht stark erhöhen. Im Extremfall können dadurch Fahrbahndeckschichten mit einem Hohlraumgehalt mit bis zu 30 Vol.-% hergestellt werden.

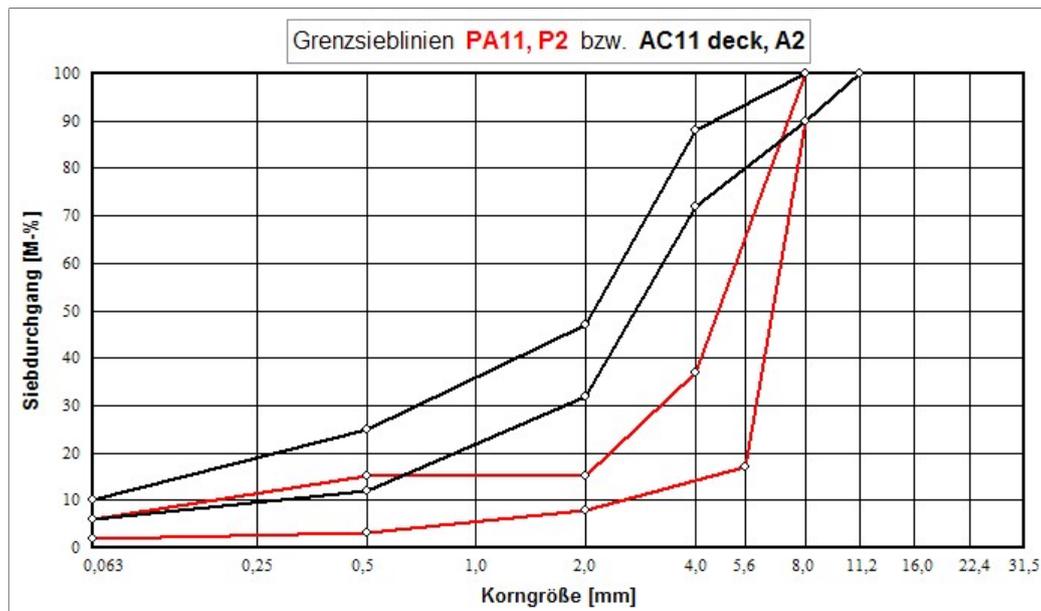
Durch den hohen Hohlraumgehalt von 20 Vol.-% und mehr erhöht sich die Drainagewirkung und der Absorptionskoeffizient von offenporigen Asphaltdeckschichten. Das wiederum führt zu niedrigeren Lärmemissionen im Vergleich zu dichten Fahrbahndeckschichttypen. Allerdings hat dieser Hohlraumgehalt auch negative Auswirkungen, zum Beispiel auf den Straßenbetrieb, und hier speziell auf den Winterdienst. Diese Fahrbahndeckschichten sind durch ein früheres Ansetzen von Schnee sowie durch eine raschere Eisbildung als bei dichten Fahrbahndeckschichten gekennzeichnet.

Es gilt also auch hier, einen Kompromiss zwischen Hohlraumgehalt (und damit einer Erhöhung des Lärm minderungspotenziales) und Verkehrssicherheit zu finden.

Eine recht erfolversprechende Lösung ist in dieser Hinsicht der lärm mindernde Splittmastixasphalt, der zwar einen geringeren Hohlraumgehalt und damit eine geringere Lärmabsorption als offenporige Fahrbahndeckschichttypen aufweist, aber im Winterdienst

keine besonderen Probleme darstellt. Der lärmindernde Splittmastixasphalt weist allerdings keinen über die gesamte Deckschichtdicke durchgehenden Hohlraumgehalt auf, dieser Fahrbahndeckschichttyp ist daher auch nicht zu den offenporigen Asphaltdeckschichten zu zählen.

Abbildung 3.10 zeigt die Grenzsieblinien einer offenporigen Asphaltdeckschicht (PA 11, P2 - offenporiger Asphalt Typ P2 gem. ÖNORM B 3586-1 [56]) im Vergleich zu einer dichten Asphaltdeckschicht (AC 11 deck, A2 - Asphaltbeton Typ A2 gem. ÖNORM B 3580-1 [57]).



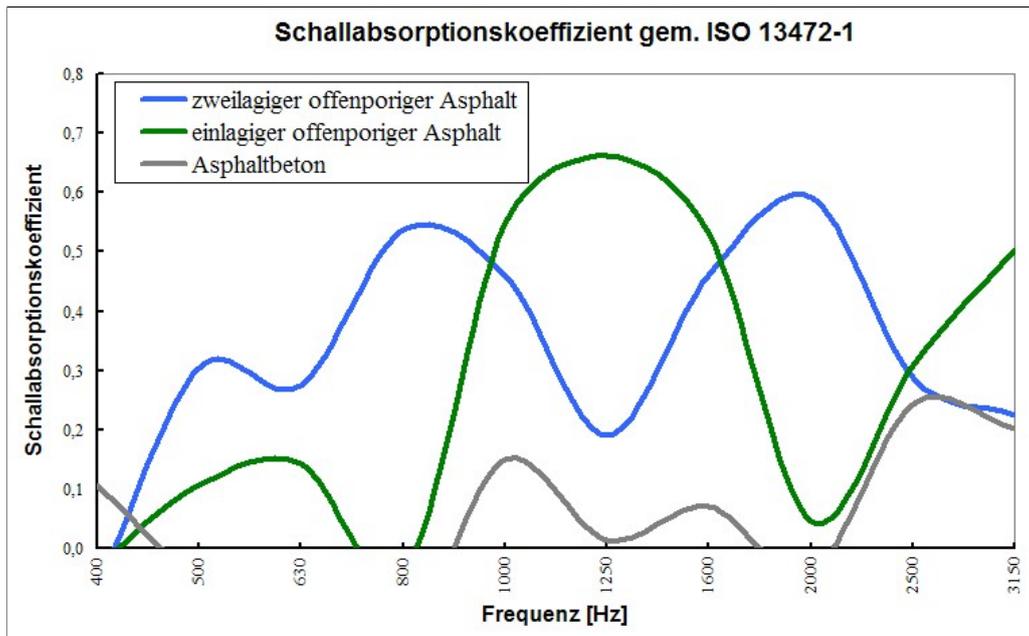
**Abbildung 3.10:** Vergleich der Grenzsieblinien von AC 11 deck, A2 und PA 11, P2 gemäß den zugehörigen ÖNORMEN (nach [56] bzw. [57])

Eine wesentliche Kenngröße von offenporigen Fahrbahndeckschichten ist der Schallabsorptionskoeffizient  $\alpha$ , der den relativen Anteil an der auf die Fahrbahnoberfläche auftretenden Schallenergie darstellt, der nicht reflektiert, sondern an der Oberfläche absorbiert wird. Offenporige Asphaltdeckschichten weisen über ihren gesamten Frequenzbereich unterschiedliche Schallabsorptionskoeffizienten auf.

Ein Schallabsorptionskoeffizient von 1,0 bedeutet, dass die gesamte auf die Oberfläche auftretende Schallenergie durch die Fahrbahndeckschicht “geschluckt“ wird, wo hingegen bei einem Schallabsorptionskoeffizienten von 0 von vollständiger Reflexion gesprochen wird.

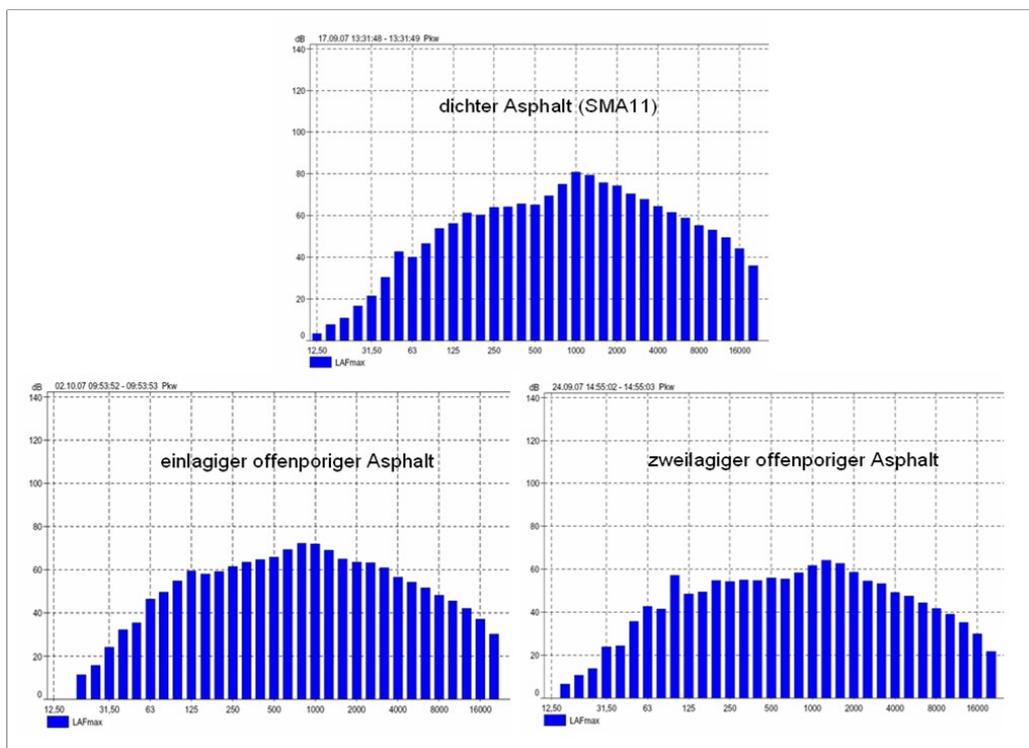
Um die geräuschkindernde Wirkung bestmöglich entfalten zu können, ist das Maximum des Absorptionsfrequenzganges dem des spektralen Maximums des Reifen-Fahrbahn-Geräusches anzupassen. Dieses ist vom Fahrbahndeckschichttyp, vom Reifentyp (Pkw- oder Lkw-Reifen) und von der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Fahrzeuge abhängig (höhere Geschwindigkeiten bewirken dominierende höhere Schallfrequenzen).

Abbildung 3.11 zeigt den Vergleich der schallabsorbierenden Eigenschaften von offenporigen mit denen von dichten Asphaltdeckschichten.



**Abbildung 3.11:** Beispiele für den Absorptionskoeffizienten offenporiger Fahrbahndeckschichten im Vergleich zu einer dichten Fahrbahndeckschicht (nach [29])

In Abbildung 3.12 sind Frequenzgänge des Reifen-Fahrbahn- Geräusches bei unterschiedlichen Fahrbahndeckschichttypen von Pkw- Reifen dargestellt.



**Abbildung 3.12:** Frequenzspektren des Reifen-Fahrbahn- Geräusches an verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen (nach [29])

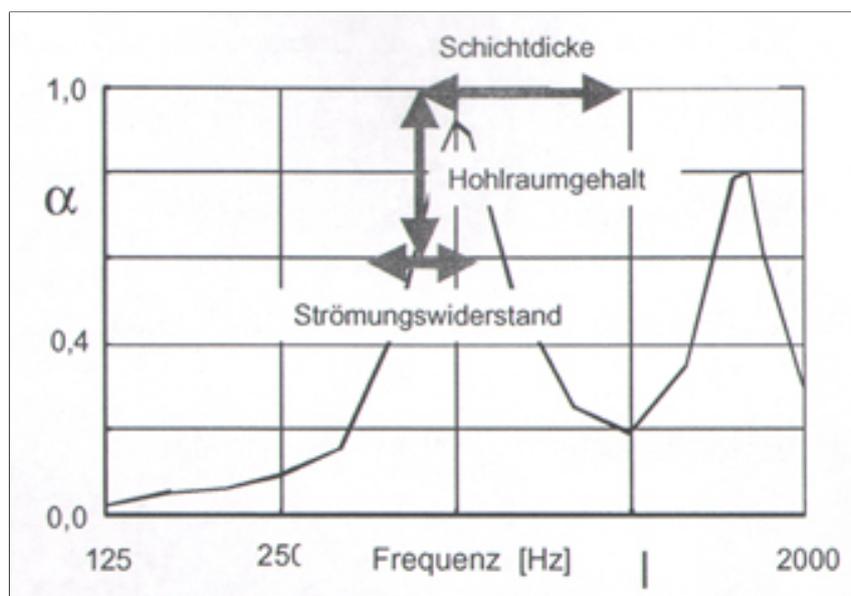
Bei der akustischen Deckschichtoptimierung kann man diesen Phänomenen auf mehreren Arten begegnen. Einerseits kann durch die Wahl der Bauweise - einlagige oder zweilagige offenporige Fahrbahndeckschichten - das Schallabsorptionsmaximum gezielt beeinflusst werden. Weist der einlagige offenporige Asphalt ein einziges Maximum des Absorptionskoeffizienten auf, so ist die Absorptionswirkung bei zweilagigen offenporigen

Asphaltdeckschichten durch das Auftreten eines zweiten Maximums weitaus breitbandiger. Hochfrequente Schallanteile können somit von der zweilagigen Bauweise weitaus intensiver als bei der einlagigen absorbiert werden. Das resultiert vor allem bei Lkw-Vorbeifahrten in deutlich niedrigeren maximalen Schallpegeln.

Andererseits ist der Ort des Schallabsorptionsmaximums von

- der Schichtdicke,
- dem Hohlraumgehalt und
- dem Strömungswiderstand der Luft

abhängig. Die Schichtdicke ist dabei für die Lage des Schallabsorptionsmaximums verantwortlich, je dicker die offenporige Fahrbahndeckschicht, desto besser ist das Absorptionsvermögen von höheren Frequenzen. Hohlraumgehalt und Strömungswiderstand beeinflussen die Ausbildung des Schallabsorptionsmaximums. Während ein größerer Hohlraumgehalt einen höheren Wert des Absorptionskoeffizienten bewirkt, ist der Wert des Strömungswiderstandes für die Breite des Maximums verantwortlich. Nur wenn genügend kommunizierende Hohlräume vorhanden sind, kann die offenporige Fahrbahndeckschicht auch ein ausreichendes Schallabsorptionsvermögen ausbilden. Beckenbauer [20] fasst diese Gegebenheiten in der Abbildung 3.13 folgendermaßen zusammen.



**Abbildung 3.13:** Einfluss von Schichtdicke, Hohlraumgehalt und Strömungswiderstand auf den Absorptionskoeffizienten offenerporiger Fahrbahndeckschichten [20]

## 3.3 Sekundäre Lärmreduktionsmaßnahmen

### 3.3.1 Allgemeines

Sekundäre Lärmreduktionsmaßnahmen zielen darauf ab, die freie Schallausbreitung des Straßenverkehrslärms zu behindern. Das geschieht in der Regel durch direkt neben der Straße installierte Abschirmmaßnahmen. Hinter dem Hindernis bildet sich ein so genannter Schallschatten, in dessen Bereich eine Schallpegelminderung erzielt werden kann. Eine

derartige Abschirmmaßnahme kann durch Lärmschutzwälle, Lärmschutzwände, aber auch durch eine Führung der Straße unter dem ursprünglichen Geländeniveau oder durch eine Einhausung (Tunnel) realisiert werden. Dabei ist die erreichbare Schallpegelreduktion umso höher, je größer der “Umweg“ für den Schall bis zum Immissionsort ist. Je näher die Abschirmmaßnahme bei der Lärmquelle (am Entstehungsort des Reifen-Fahrbahn-Geräusches) situiert ist, desto effektiver ist die Lärmreduktionswirkung dieser Maßnahme.

### 3.3.2 Wirkungsweise einer Lärmschutzwand

An einer geraden Lärmschutzwand tritt sowohl an ihrer Oberkante als auch an den Seitenkanten ein Beugungseffekt der Schallstrahlen auf, der bewirkt, dass die zu erreichende Schattenwirkung vermindert wird, d.h. der Schallstrahl krümmt sich um das Hindernis, sodass der Lärm trotz fehlender direkter Sichtlinie wahrgenommen werden kann (siehe Abbildung 3.14). Die Beugung der Schallwellen ist umso stärker und die erzielte Abschirmwirkung damit umso geringer, je niedriger die Frequenz des Schalls ist.

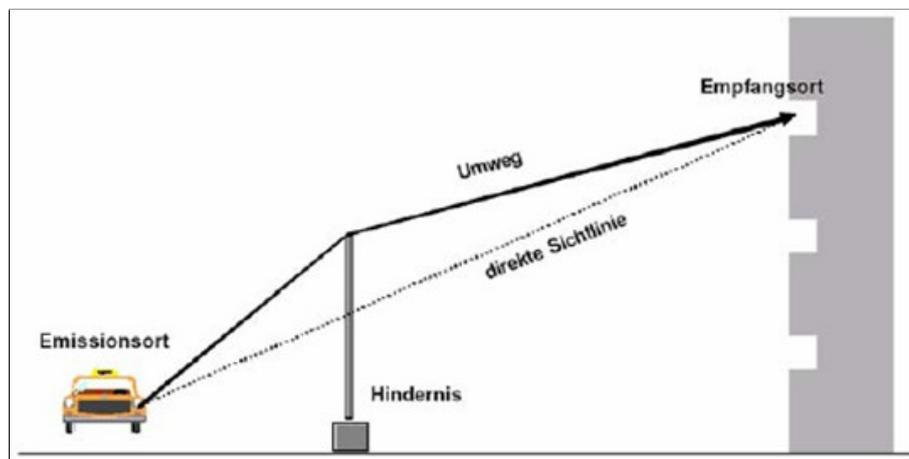


Abbildung 3.14: Schallausbreitung und -beugung über eine Lärmschutzwand [58]

Die Berechnung der Wirkung von Abschirmeinrichtungen zur Minderung der Lärmbelastung durch den Straßenverkehr wird in Österreich nach der RVS 04.02.11 [9] durchgeführt. Als Kennwert für die Abschirmwirkung einer Lärmschutzwand wird dort das Schalldämmmaß  $\Delta L_{A,R,Str}$  in [dB(A)] angegeben. Das Schalldämmmaß gibt denjenigen Pegelwert in Dezibel an, um den der vor der Lärmschutzwand herrschende Gesamtschallpegel hinter der Lärmschutzwand verringert wird. Es variiert in der Regel je nach Lärmschutzwandtyp von 25 dB(A) bis zu über 50 dB(A). Neben der Abschirmwirkung von Lärmschutzwänden spielen aber auch noch deren Schallabsorptionseigenschaften eine bedeutende Rolle. Die Schallabsorption einer Lärmschutzwand wird durch den Wert  $\Delta L_{A,\alpha,Str}$  in [dB(A)] beschrieben. Dieser gibt an, um wie viel der allein durch die Restreflexion hervorgerufene A-bewertete Schallpegel niedriger ist, als er bei 100% Reflexion wäre [9]. Überlagert sich der reflektierte Schall direkt dem ungehindert einfallenden Schall, so sollte zumindest eine Wand mit  $\Delta L_{A,\alpha,Str} \geq 4$  dB(A) ausgeführt werden. Eine solche Wand wird nach [9] als absorbierende Wand, eine mit  $\Delta L_{A,\alpha,Str} \geq 8$  dB(A) als hochabsorbierend bezeichnet.

### 3.3.3 Beispiele für verschiedenartige Lärmschutzwandsysteme

Am Markt ist zur Zeit eine Vielzahl an verschiedenen Lärmschutzwandsystemen zu finden. Diese Vielfalt spiegelt sich unter anderem auch bei den verwendeten Materialien wieder. Lärmschutzwände werden aus Aluminium, Beton, Holz, Kunststoff sowie transparentem Kunststoff, Glas, Stahlblech, Tonmaterialien (Ziegel), usw. hergestellt. Auf der Homepage der ASFINAG ist eine umfangreiche Zusammenstellung der an den Autobahnen und Schnellstraßen verwendeten Lärmschutzwandausführungen veröffentlicht (siehe [10]). Einige dieser Systeme werden im Folgenden kurz beschrieben und gezeigt. Am häufigsten werden im hochrangigen Straßennetz Lärmschutzwände aus Aluminiumkassetten verwendet. Diese Fertigteile müssen eine Blechdicke von mindestens einem Millimeter aufweisen und so aufeinander abgestimmt sein, dass es zu keinen sichtbaren Verformungen oder Unebenheiten kommen kann (siehe Abbildung 3.15).



Abbildung 3.15: Beispiele für Lärmschutzwände aus Aluminium [10]

Aus finanziellen Gesichtspunkten werden oftmals Lärmschutzwände aus Holz zur Ausführung gebracht, die vor allem in technischer Hinsicht gute Schallabsorptionseigenschaften aufweisen (siehe Abbildung 3.16).



Abbildung 3.16: Beispiele für Lärmschutzwände aus Holz [10]

Lärmschutzwände aus Beton werden beispielsweise oft aus optischen Gründen, aber auch aufgrund besserer Absorptionseigenschaften mit einer Holzverkleidung ausgeführt. Der verwendete Beton muss den Anforderungen des EUROCODE 2 [59] entsprechen. Beispiele für Lärmschutzwände aus Beton sind in Abbildung 3.17 dargestellt.



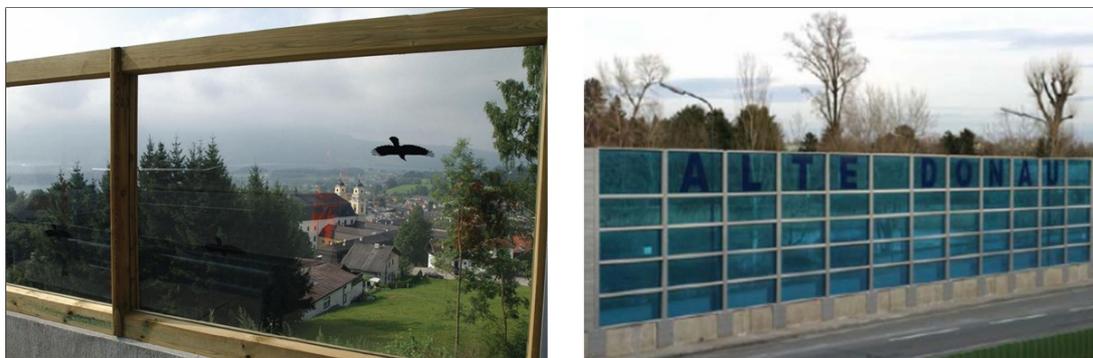
**Abbildung 3.17:** Beispiele für Lärmschutzwände aus Beton [10]

Eine optisch ansprechende Lösung stellen Lärmschutzwandsysteme aus mit Steinen oder mit Glasschaum gefüllten Stahlkörpern (Drahtschotterbehälter) dar (siehe Abbildung 3.18). Auch hier sind vor allem die guten Absorptionseigenschaften hervorzuheben.



**Abbildung 3.18:** Beispiele für Lärmschutzwände aus gefüllten Stahlkörpern [10]

Für Straßenabschnitte in der Nähe von Sehenswürdigkeiten, die ansonsten von den Lärmschutzwänden verdeckt wären, oder um die Tunnelwirkung durch rechts und links der Straße angeordnete Lärmschutzwände zu verringern, bietet sich die Möglichkeit von transparenten Ausführungen (siehe Abbildung 3.19).



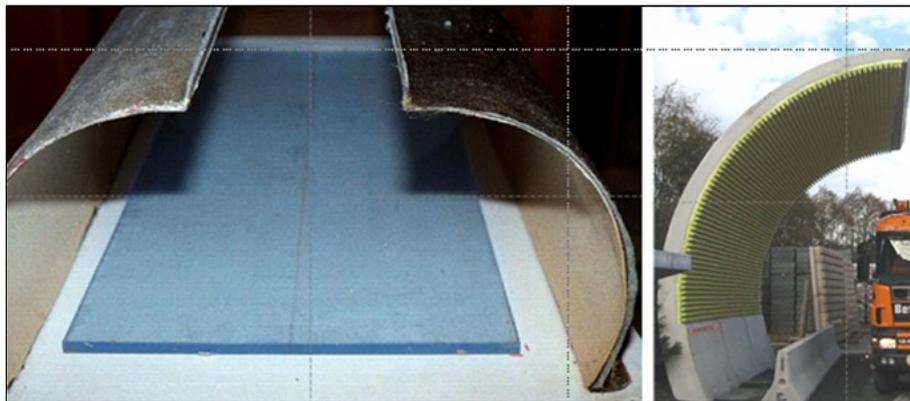
**Abbildung 3.19:** Beispiele für transparente Lärmschutzwände [10]

Diese werden entweder aus Kunststoffen wie Acrylglas oder Polycarbonat oder aus Glas ausgeführt. Zur Vermeidung von Vogelschlag sind diese Ausführungen mit geeigneten Musterungen zu versehen.

### 3.3.4 Innovative Lärmschutzwandsysteme

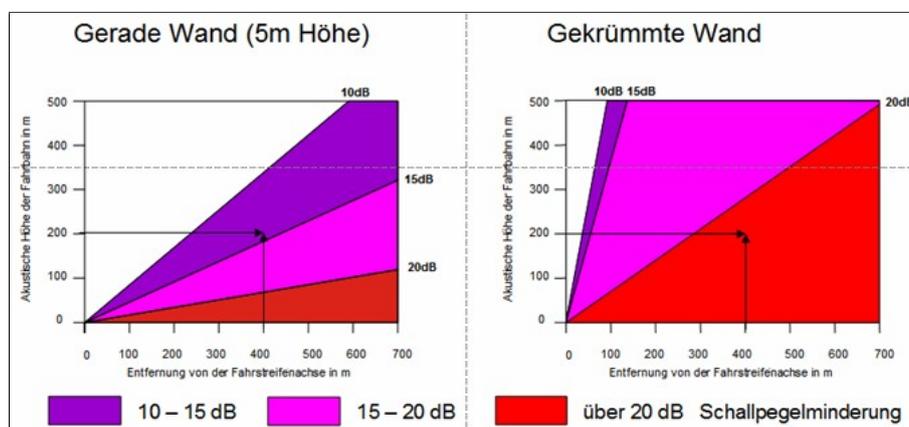
Aufgrund der durch ständig steigende Verkehrszahlen erhöhten Lärmbelastung der im Nahbereich von Straßen lebenden Menschen wird die Frage nach innovativen Lärmschutzsystemen immer lauter.

Als Beispiel für ein solches System ist die Entwicklung einer gekrümmten Lärmschutzwand zu nennen. Abbildung 3.20 zeigt das Modell des so genannten SRS – Sound Reducing System – und schließlich einen Prototyp dieser gekrümmten Lärmschutzwand.



**Abbildung 3.20:** Modell und Ausführung einer gekrümmten Lärmschutzwand (SRS – Sound Reducing System) [60]

Durchgeführte Modellrechnungen zeigen den enormen schalltechnischen Vorteil im Vergleich zu einer geraden Wand derselben Wandhöhe (siehe Abbildung 3.21).



**Abbildung 3.21:** Vergleich der Schallpegelminderung einer geraden mit einer gekrümmten Lärmschutzwand [60]

Ebenso wird durch den Einsatz von Aufsatzelementen auf bestehende Lärmschutzwände versucht, die große Beugungswirkung einer geraden Lärmschutzwand zu verringern. Abbildung 3.22 zeigt die Wirkung eines gekrümmten Aufsatzelementes im Vergleich zu einer geraden Lärmschutzwand.

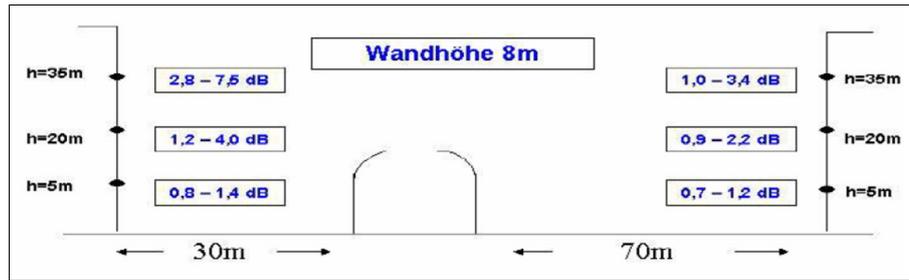


Abbildung 3.22: Lärmpegelreduktion eines gekrümmten Aufsatzes im Vergleich zu einer geraden Lärmschutzwand gleicher Höhe [61]

Untersuchungen aus den Niederlanden (IPG-Projekt, siehe [62]) an weiteren Möglichkeiten von Aufsatzelementen, wie zum Beispiel so genannte T-Profile, zeigen eine mittlere Lärmpegelreduktion eines solchen Profils im Vergleich zu einer geraden Lärmschutzwand von mehr als 2 dB(A). Das Prinzip dieser T-Profile ist in Abbildung 3.23 dargestellt.

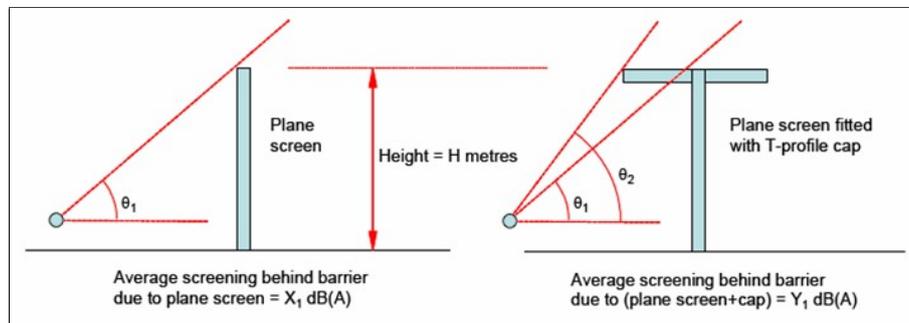


Abbildung 3.23: Wirkungsweise eines T-Profiles im Vergleich zu einer geraden Lärmschutzwand [62]

### 3.3.5 Lärmschutzwälle

Lärmschutzwälle lassen sich in der Regel harmonischer in die Landschaft einfügen als Lärmschutzwände [63]. Sie weisen aber grundsätzlich einen wesentlich höheren Platzbedarf auf und sind daher praktisch nur im Ausserortsbereich einsetzbar.

Abbildung 3.24 zeigt den direkten Höhenvergleich zwischen einer Lärmschutzwand und einem Lärmschutzwall, um dieselbe Schutzwirkung zu erreichen.

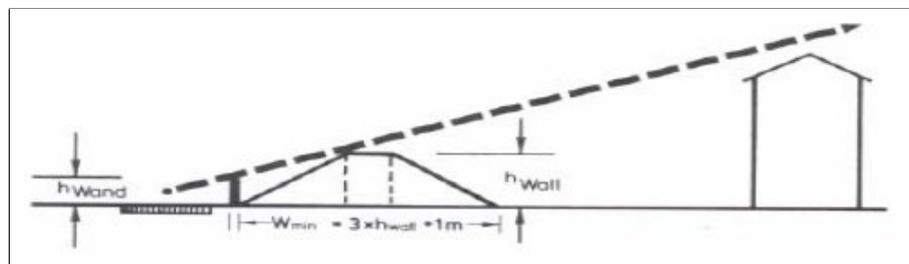


Abbildung 3.24: Höhe eines Lärmschutzwalles im Vergleich zu einer wirkungsgleichen Lärmschutzwand [64]

Ebenso können sich Lärmschutzwälle zur Unterbringung von Erdabtragsmassen eignen, unter der Voraussetzung, dass für das Bodenmaterial eine entsprechende Eignung vorliegt. Zusätzlich dämmt ihre Masse bei dichter Schüttung den Schall praktisch vollständig ab und es treten keine Reflexionen zu gegenüberliegenden Bebauungen auf. Ein weiterer Vorteil wäre die geringere Verschattung der Fahrbahnen, wodurch auch eine geringere Gefahr

durch Eisglättebildung als bei nahe an der Straße stehenden Lärmschutzwänden gegeben wäre. Ein Beispiel für einen begrünten Lärmschutzwall ist in Abbildung 3.25 dargestellt. Um die positiven Eigenschaften sowohl von Lärmschutzwänden als auch von Lärmschutzwällen nutzen zu können, wäre die Anordnung einer auf einen Lärmschutzwall aufgesetzten Lärmschutzwand durchaus sinnvoll.



**Abbildung 3.25:** *Beispiel eines Lärmschutzwalles mit Bepflanzung*

### 3.3.6 Einhausungen

An hochbelasteten Straßen, die sich in engen Tallagen befinden, kann mit herkömmlichen Lärmschutzwänden der gewünschte Lärminderungseffekt oftmals nicht mehr erreicht werden. In diesen Fällen sind Lösungen mit Überdachungen oder Einhausungen der Verkehrswege notwendig. In Bezug auf Errichtung und Erhaltung sind solche Massiveinhausungen extrem kostenaufwendig, da sie wie Tunnelbauten ausgeführt werden müssen (Stichwort Tunnelsicherheit!). Aus diesem Grund sind in letzter Zeit Entwürfe und Untersuchungen von Leichteinhausungen bzw. Teileinhausungen in den Vordergrund gerückt. Ein Beispiel für eine Teileinhausung ist in Abbildung 3.26 dargestellt.



**Abbildung 3.26:** *Animation einer Teileinhausung an der A10 - Tauern Autobahn (Galerie Eben) [65]*

Dabei hat vor allem die Länge der Einhausung einen großen Einfluss auf das zu erreichende Lärminderungspotenzial. Beispielberechnungen haben ergeben, dass ein Immissionspunkt erst ab einer Einhausungslänge von mindestens dem zehnfachen Abstand des Immissionspunktes von der Straße ausreichend vom Straßenverkehrslärm geschützt ist (siehe Abbildung 3.27).

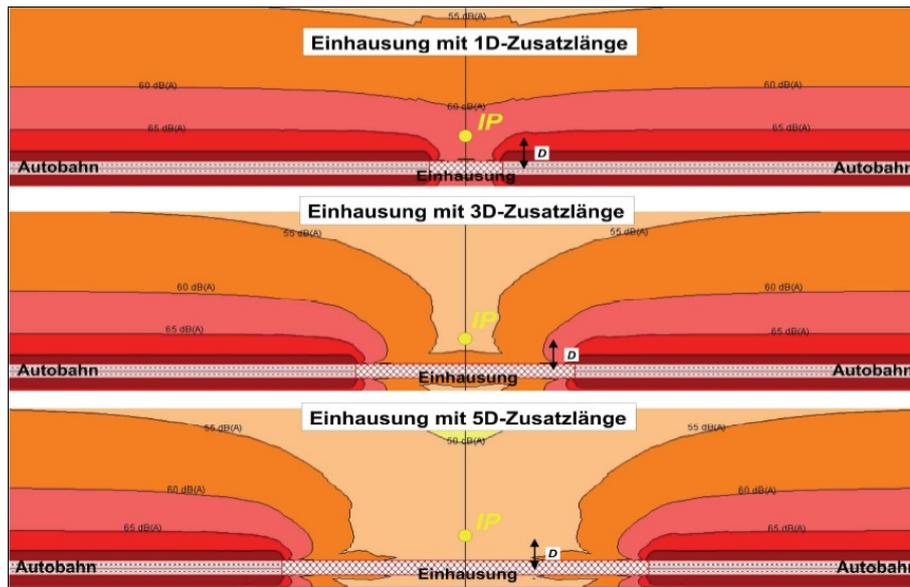


Abbildung 3.27: Einfluss der Einhausungslänge auf die zu mindernde Schallpegelausbreitung [65]

### 3.3.7 Lärmschutzfenster

Ist eine ausreichende Lärmreduktion durch gewöhnliche bautechnische Lärmschutzmaßnahmen (lärmmindernde Fahrbahndeckschichten, Lärmschutzwände und -wälle, ...) nicht erreichbar, kann nur mehr durch Maßnahmen direkt am Immissionsort geholfen werden. Zu diesen Maßnahmen zählen vor allem der Einsatz von Lärmschutzfenstern, -türen und Schalldämmlüftern. Allerdings kann dadurch ein ausreichender Lärmschutz in den Wohngebäuden nur bei geschlossenen Fenstern und Türen erreicht werden. Die Freiräume um die Wohngebäude bleiben weiterhin der vollen Lärmbelastung ausgesetzt.

Abbildung 3.28 veranschaulicht das Lärmreduktionspotenzial von herkömmlichen Fenstern im Vergleich zu Lärmschutzfenstern.

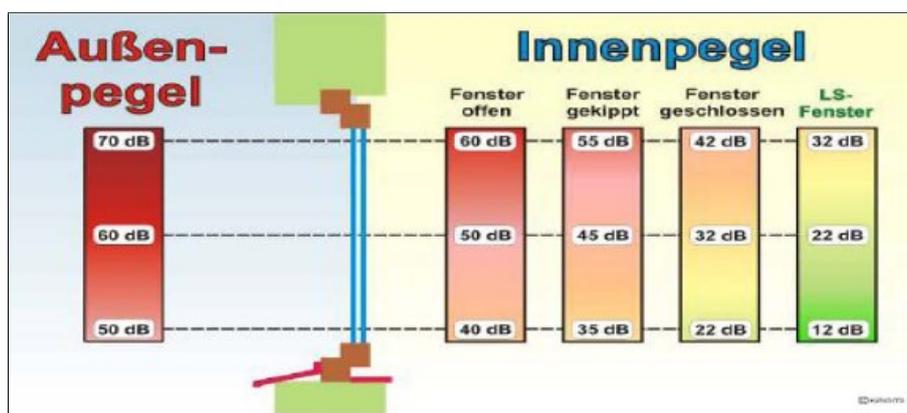


Abbildung 3.28: Zusammenhang zwischen Außen- und Innenpegel unter Berücksichtigung verschiedener Fenstertypen [10]

Bei einem Außenpegel von 70 dB(A) beträgt der Schallpegel im Inneren des Raumes ca. 60 dB(A). Durch Kippen des Fensters lässt sich eine Lärmpegelreduktion von 5 dB(A) erreichen, ein deutlicher Unterschied im Innenpegel ist aber erst durch das Schließen des Fensters erkennbar. In diesem Fall ist dann der Pegelunterschied zwischen aussen und innen

schon 28 dB(A); die Verwendung von Lärmschutzfenstern vergrößert diesen Unterschied um weitere 10 dB(A).

In Schlafräumen, bei denen eine ausreichende natürliche Frischluftzufuhr aufgrund der Lärmbelastung von der Straßenseite her nicht möglich ist, ist der Einbau von Schalldämmlüftern unerlässlich (siehe [66]). Ein Schalldämmlüfter hat die Eigenschaft, frische Luft von aussen in den Raum zu transportieren und gleichzeitig den Durchgang von Schall durch eine Schalldämpfung zu verhindern. Er bringt den wichtigen Luftaustausch in Schlafräumen und sorgt für ein gesundes Klima.

### 3.3.8 Individueller Lärmschutz am Grundstück

Bei Einzelgebäuden im Freiland, die sich hoch über dem Niveau der Straße befinden, ist ein straßenseitiger Lärmschutz oft technisch kaum bzw. wirtschaftlich überhaupt nicht möglich. Wenn aber trotzdem ein Freiraumschutz zumindest in gewissen Bereichen des Grundstückes angestrebt wird, so kann dies durch die Errichtung von abschirmenden Lärmschutzwänden am Grundstück oder an der Grundgrenze bewerkstelligt werden [10]. Ein Beispiel für so genannte wohnhausseitige Lärmschutzwände ist in Abbildung 3.29 dargestellt.



Abbildung 3.29: Wohnhausseitige Lärmschutzwand an der A1 - West Autobahn [65]

## 3.4 Verkehrsmanagementmaßnahmen

### 3.4.1 Allgemeines

Unter Verkehrsmanagement werden im Allgemeinen all jene Maßnahmen verstanden, die zu einer Veränderung des Verkehrsflusses führen. Die Ziele einer solchen künstlich herbeigeführten Verkehrsbeeinflussung liegen vor allem in der Reduktion der Fahrgeschwindigkeit und der Verkehrsdichte, aber auch in einer Änderung der Verkehrszusammensetzung [67]. Verkehrsmanagementmaßnahmen leisten somit einerseits durch die Erreichung einer gleichmäßigen Fahrweise aller Verkehrsteilnehmer mit wenigen Brems- und Beschleunigungsvorgängen und andererseits durch die Erreichung eines niedrigeren Geschwindigkeitsniveaus einen eindeutig positiven Beitrag zur Herabsetzung des Verkehrslärms.

Verkehrsmanagementmaßnahmen dienen primär dazu, die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Zusätzlich lassen sich aber auch positive Einflüsse auf die Verkehrslärmsituation feststellen. Allerdings hängt der Einfluss dieser Maßnahmen stark von ihrer exakten Aus- und Durchführung und von der Akzeptanz der Verkehrsteilnehmer ab.

Verkehrsmanagementmaßnahmen lassen sich in die zwei Hauptkategorien

- *entwurfstechnische Maßnahmen*, wie zum Beispiel die Anordnung von Fahrbahneinengungen, Fahrbahnschwellen und
- *verkehrsorganisatorische Maßnahmen*, wie zum Beispiel Fahrverbote für Schwerverkehr oder Implementierung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen

einteilen.

### 3.4.2 Entwurfstechnische Maßnahmen

Unter entwurfstechnischen Maßnahmen sind all jene Maßnahmen zu verstehen, die sich auf die Gestaltung und Planung eines Straßenabschnittes beziehen. Sie sollen vor allem zu einer Verringerung der Fahrgeschwindigkeiten sowie einer Homogenisierung des Verkehrsflusses führen. Folgende Beispiele werden in den nächsten Abschnitten dieser Arbeit kurz beschrieben (siehe auch [67]):

- Straßenraumgestaltung
- Anordnung von Fahrbahnschwellen
- Implementierung eines Kreisverkehrs

#### 3.4.2.1 Lärmschutz durch spezielle Straßenraumgestaltung

In vielen urbanen Regionen treten an Durchzugsstraßen hohe Verkehrsstärken mit hohen Anteilen des Schwerverkehrs auf. Dies bewirkt sowohl eine enorme Lärmbelastung als auch ein Gefühl der Unsicherheit und des Unwohlseins der Anrainer, die sich auf Grund des starken Verkehrsaufkommens und der hohen gefahrenen Geschwindigkeiten in ihrem Sicherheitsempfinden gestört fühlen. Eine entsprechende Straßenraumgestaltung ist dann imstande, diese negativen Auswirkungen bis zu einem gewissen Grad aufzuwiegen und zu kompensieren. Als Möglichkeiten können dabei unter anderem Verbreiterungen von Gehwegen, Begrünungen des Straßenraums, punktuelle Fahrbahnverengungen oder auch die Anlage von Zebrastreifen und Mittelinseln zu einer besseren Überquerbarkeit der Straße in Frage kommen. Hintergedanke dieser Maßnahmen ist es, das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer in Richtung einer geringeren Geschwindigkeit und einer gleichmäßigeren Fahrweise zu beeinflussen.

Bendtsen berichtet in [68] von Lärmmessungen in 3 verschiedenen dänischen Städten, in denen verkehrsplanerische Gestaltungsmaßnahmen zur Verkehrsberuhigung durchgeführt wurden. Abbildung 3.30 zeigt Beispiele der realisierten Umbauten in Vinderup, Skærbæk und Ugerløse.



**Abbildung 3.30:** Beispiele der Straßenraumgestaltung in den drei dänischen Städten Vinderup, Skærbæk and Ugerløse [68]

Generell konnten nach Anbringung der Gestaltungsmaßnahmen Reduktionen der Fahrgeschwindigkeit um bis zu 10 km/h und daraus resultierende Lärmpegelminderungen um bis zu 4 dB(A) - gemessen als  $L_{eq}$  - festgestellt werden. Ebenso zeigten Umfragen bei den Anrainern eine geringere psychologische Lärmstörung durch die gleichmäßigere Fahrweise.

#### 3.4.2.2 Lärmschutz durch den Einbau von Fahrbahnschwellen

Die Auswirkungen von Fahrbahnschwellen auf den Lärmpegel vorbeifahrender Fahrzeuge sind im Rahmen eines britischen Forschungsprojektes in Gloucester detailliert untersucht worden [69]. Abbildung 3.31 zeigt Beispiele der untersuchten Fahrbahnschwellen.



**Abbildung 3.31:** Beispiele von Fahrbahnschwellen in Gloucester - Großbritannien [69]

Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass das Lärminderungspotenzial angebrachter Fahrbahnschwellen stark vom Schwerverkehrsanteil wie von der Ausbildung der Schwelle abhängt. Bei den untersuchten Personenkraftwagen konnte eine Lärmpegelminderung von bis zu 7 dB(A) - gemessen als  $L_{eq}$  - festgestellt werden. Allerdings steigt der Lärmpegel mit ansteigender Zahl des Schwerverkehrsanteils drastisch in die Höhe.

### 3.4.2.3 Lärmschutz durch Implementierung eines Kreisverkehrs

Kreisverkehre sind immer dann sinnvoll, wenn die Verkehrsflüsse der sich kreuzenden Straßen annähernd ähnliche Stärken und Zusammensetzungen aufweisen. In letzter Zeit hat der Kreisverkehr aufgrund seiner Vergleichmäßigung des Verkehrs und somit auch einer Verringerung des Schallpegels erheblich an Bedeutung gewonnen. In Basel (Schweiz) wurde zum Beispiel eine zu einem Kreisverkehr umgebaute Kreuzung vor und nach dem Umbau lärmtechnisch untersucht [70]. Dabei konnten an den angrenzenden Häuserecken Lärmpegelreduktionen von bis zu 1,7 dB(A) während des Tages und um bis zu 3 dB(A) in der Nachtzeit - gemessen als  $L_{eq}$  - festgestellt werden. Der dabei betrachtete Kreuzungsbereich ist in Abbildung 3.32 dargestellt.

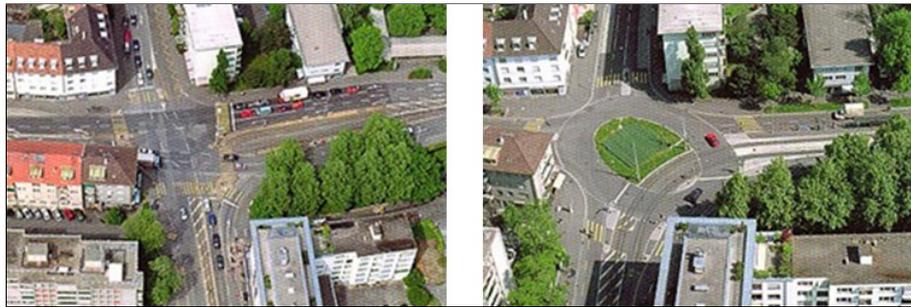


Abbildung 3.32: Untersuchte Kreuzung vor und nach der Implementierung des Kreisverkehrs [70]

### 3.4.3 Verkehrsorganisatorische Maßnahmen

Unter verkehrsorganisatorischen Maßnahmen sind all jene Maßnahmen zu verstehen, die den Straßenverkehr an sich beeinflussen. Sie sollen ebenfalls zu einer Verringerung der Fahrgeschwindigkeiten sowie zu einer besseren Aufteilung des Verkehrs führen. Folgende Maßnahmen können dabei zu Lärmpegelreduktionen führen (siehe auch [67]):

- Tempo 30- Zonen
- Fahrverbote für Schwerverkehr
- Verkehrsbeeinflussungsanlagen (Multifunktionelle Lärmschutzanlage)

#### 3.4.3.1 Lärmschutz durch die Einführung von Tempo 30- Zonen

Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 30 km/h werden speziell in Wohngebieten oder in Einkaufszonen zur Unfallvermeidung, sowohl zwischen zwei Fahrzeugen als auch zwischen Fahrzeug und Mensch, eingesetzt. Eine lärmtechnische Untersuchung von mehreren Tempo 30- Zonen in Graz, Österreich, konnte eine durchschnittliche Lärmpegelreduktion des Dauerschallpegels um bis zu 2 dB(A) im Vergleich zur ursprünglichen Situation (Tempolimit 50 km/h) nachweisen [71]. Viele weitere Untersuchungen an Tempo 30- Zonen zeigen ein ähnliches Lärminderungspotenzial.

Allerdings zeigt sich gerade bei der Einführung von Tempo 30- Zonen der große Einfluss der Fahrweise auf den Gesamtvorbeifahrtpegel (siehe auch Abschnitt 2.3.2.5).

### 3.4.3.2 Lärmschutz durch Fahrverbote für den Schwerverkehr

Eine österreichische Untersuchung an der B 312 (Loferer Straße) in Salzburg zeigt den Einfluss eines Nachtfahrverbotes für den Schwerverkehr ( $> 7,5\text{ t}$ ) auf die Lärmsituation. Dabei wurden Lärmpegelreduktionen - gemessen in  $L_{eq}$  - von bis zu  $7\text{ dB(A)}$  in den Nachtzeiten festgestellt [72]. Allerdings ergibt sich durch die Einführung von Lkw-Nachtfahrverboten ein negativer Effekt betreffend die Verteilung des Verkehrs über den Tag (siehe Abbildung 3.33).

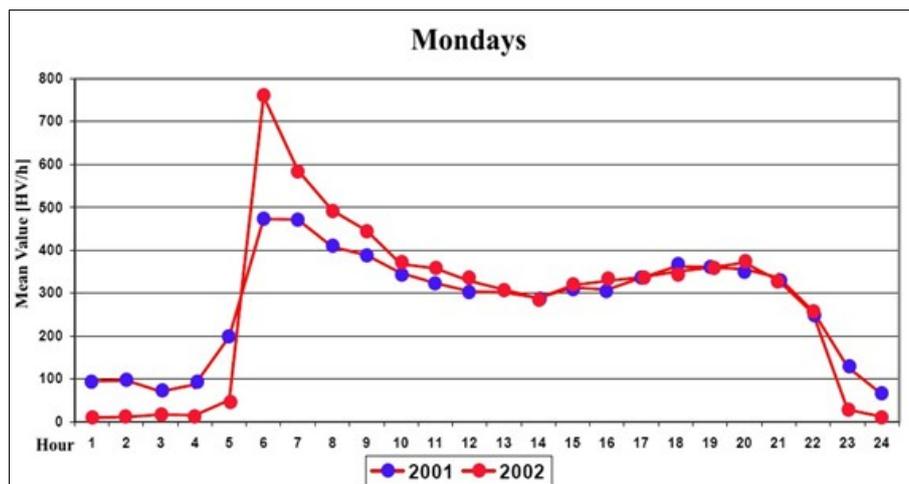


Abbildung 3.33: Schwerverkehrsverteilung vor und nach Einführung eines Lkw-Fahrverbotes [73]

In den Morgenstunden steigt der Lkw-Verkehr im Vergleich zur Ausgangssituation stark an. Das führt speziell in den Zeiten zwischen 6 und 7 Uhr in der Früh zu starken (und vor allem für die Anwohner unangenehmen) Lärmpegelanstiegen.

### 3.4.3.3 Lärmschutz durch eine Multifunktionelle Lärmschutzanlage (MLA)

An der A2 - Süd Autobahn - im Bereich von Gleisdorf wurde im Jahr 2001 eine innovative Art einer Lärmschutzanlage errichtet. Durch ständig durchgeführte Lärmmessungen direkt in Gleisdorf wird dabei der Autobahnverkehr in Abhängigkeit von der Lärmbelastung der Einwohner vor Ort durch verordnete Geschwindigkeitsreduktionen geregelt (siehe Abbildung 3.34).



Abbildung 3.34: Schematische Darstellung der multifunktionellen Lärmschutzanlage in Gleisdorf [10]

Kommt es zu einer Überschreitung der gesetzlich geregelten Lärmpegel gem. der Dienst-anweisung für Lärmschutz an Bundesstraßen (Autobahnen und Schnellstraßen) des Bun-

desministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie [66] ( $L_{eq}$  von 60 dB(A) für den Tag-Abend-Nacht-Zeitraum und  $L_{eq}$  von 50 dB(A) für den Nachtzeitraum), wird die erlaubte Fahrgeschwindigkeit, für Pkw und Lkw getrennt, herabgesetzt, um die geforderten Grenzwerte einhalten zu können. Durch diese Verkehrssteuerung konnte eine Lärmpegelabsenkung im Extremfall um bis zu 6 dB(A) erreicht werden. Neben der funktionalen Nutzung dieser Pilotanlage als Lärmschutzmaßnahme wurde durch die Installierung von Photovoltaikzellen als Aufsatzelemente auf die errichteten Lärmschutzwände zusätzlich zum erreichten Lärmschutz der positive Nebeneffekt einer umweltfreundlichen Energiegewinnung erzielt [10].

## 4. KAPITEL

# MESSMETHODEN ZUR ERFASSUNG DES STRASSENVERKEHRSLÄRMS

## 4.1 Grundlagen

Die Erfassung des Straßenverkehrslärms erfolgt prinzipiell durch Mikrofonmessungen. Diese können einerseits zur Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten, Reifen oder Fahrzeugen und andererseits zur Erfassung der gesamten Geräuschkulisse entweder in der Nähe von Straßenzügen oder vor Ort (als Immissionsmessungen) verwendet werden. Bei den Messungen werden prinzipiell zwei unterschiedliche Methoden angewandt:

- die Messung des Schallpegels im direkten Nahbereich der Geräuschquelle (Rollgeräuschmessung) oder
- die Messung des Schallpegels neben der Fahrbahn (Vorbeifahrtmessung).

Diese beiden Methoden unterscheiden sich vor allem durch unterschiedliche Distanzen der verwendeten Mikrofone zur Geräuschquelle. Aber auch die Auswertung der Messergebnisse erfolgt unter anderen Gesichtspunkten. Während bei Rollgeräuschmessungen nach dem energieäquivalenten Dauerschallpegel ( $L_{eq}$ ) ausgewertet wird, errechnet sich das Ergebnis von Vorbeifahrtmessungen aus dem maximalen Schallpegel ( $L_{A,max}$ ) einer Vorbeifahrt eines Fahrzeuges.

## 4.2 Messung des Rollgeräusches

Rollgeräuschmessungen werden zur Erfassung des beim Abrollen des Reifens auf der Fahrbahndeckschicht entstehenden Schallereignisses angewandt. Zur Messung dieses Abrollgeräusches wurden in den späten siebziger Jahren so genannte Nahfeldmessverfahren (in unmittelbarer Nähe eines Messreifens) entwickelt.

Der Messreifen kann Teil eines Fahrzeuges selbst sein, wird aber meistens an einem Messanhänger durch ein Zugfahrzeug an einer langen Deichsel nachgezogen. Durch diese Messeinrichtung kann nun einerseits die Geräuschemission von Reifen und andererseits der Einfluss der Straßenoberfläche auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch untersucht werden.

Die heutzutage verwendeten Messanhänger unterscheiden sich in Art (Einrad-, Zweirad-, Einachs-, Zweiachsanhänger), Größe, Gestalt und Innenausstattung, so dass mit unterschiedlichen Messergebnissen gerechnet werden muss. Um sie trotzdem einigermaßen

vergleichbar zu machen, werden die Anzahl der Mikrofone im Anhänger, ihre Position und die Art und Anzahl der Überfahrten über die zu untersuchenden Fahrbahndeckschichten genormt. Die Testfahrzeuge bestehen aus einem nach unten hin offenen Kasten mit einer schallabsorbierenden Auskleidung. Im Falle eines Messanhängers sind auch am Zugfahrzeug geeignete Maßnahmen zur Minderung der Reifen- und Auspuffgeräusche notwendig. Abbildung 4.1 zeigt verschiedene Ausführungen von Rollgeräusch-Messsystemen, die in den verschiedenen europäischen Ländern eingesetzt werden.



**Abbildung 4.1:** *Unterschiedliche Messsysteme zur Bestimmung des Rollgeräuschpegels*

Durch den Messanhänger wird das reine Rollgeräusch eines Reifens bei dessen Abrollen auf der zu untersuchenden Straßenoberfläche erfasst. Dieses soll dabei weder durch Fahrzeuggeräusche, die beispielsweise durch Motor oder Auspuff entstehen können, noch durch andere Effekte der Schallausbreitung über einer Straßenoberfläche beeinträchtigt werden. Um dies zu erreichen, wird der Messanhänger mit einer speziell schalldämmenden Abdeckhaube, die äußere Schallquellen abschirmt und innen durch eine schallabsorbierende Auskleidung Reflexionen verhindert, ausgestattet.

Die Vorteile der Verwendung eines Rollgeräusch-Messanhängers zur Quantifizierung der Lärmemission von Fahrbahndeckschichten liegen auf der Hand:

- Stör- und Fremdgeräusche können bei der Durchführung der Messungen weitestgehend ausgeschlossen werden.
- Die Messbedingungen können relativ konstant gehalten werden.
- Eine gute Wiederholbarkeit der Messungen ist möglich.
- Die Messungen sind unter fließendem Verkehr durchführbar und verursachen daher keine Verkehrsstörungen.
- Die Messungen des Rollgeräusches sind über längere Straßenabschnitte möglich.
- Die Durchführung der Messungen erfordert einen relativ geringen Personal- und Zeitaufwand.
- Die zeitliche Entwicklung der lärm mindernden Wirkung einer Fahrbahndeckschicht kann in einfacher Weise erfasst werden.

Als nachteilig muss allerdings erwähnt werden, dass bei der Messung mit dem Rollgeräusch-Messanhänger vorwiegend der Beitrag der Oberflächentextur am Reifen-Fahrbahn-Geräusch quantifiziert wird, jedoch die Schallausbreitung und eine mögliche Absorptionwirkung der Fahrbahndeckschicht unberücksichtigt bleiben. Daher können mit dieser Methode keine Aussagen über die tatsächliche Lärmsituation neben der Straße getroffen werden. Die Nahfeld-Geräuschmessungen sind somit zur Messung von Verkehrsgeräuschen im Nahbereich von Straßen nicht geeignet. Hierfür werden Messungen nach der Methode der Statistischen Vorbeifahrt (Statistical Pass-By, SPB, siehe auch [74]) oder direkte Immissionsmessungen angewandt [75], siehe Abschnitt 4.3 dieser Arbeit.

#### 4.2.1 Rollgeräuschmessung gem. RVS 11.06.64

Die österreichischen Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau legen in der Richtlinie RVS 11.06.64 [76] ein Messverfahren zur Rollgeräuschmessung unter standardisierten Bedingungen fest. Die dabei gewonnenen Messergebnisse werden einerseits für Abnahmeprüfungen von Fahrbahndeckschichten bezüglich des Rollgeräusches oder zur lärmemissionsbedingten Beurteilung von verschiedenen Fahrbahndeckschichten verwendet.

Die Messung des Rollgeräusches erfolgt dabei mit einem Einrad-Anhänger, der von einem Messreifen getragen wird. Abbildung 4.2 zeigt die Prüfanordnung für die Rollgeräuschmessung in einer Schemaskizze.

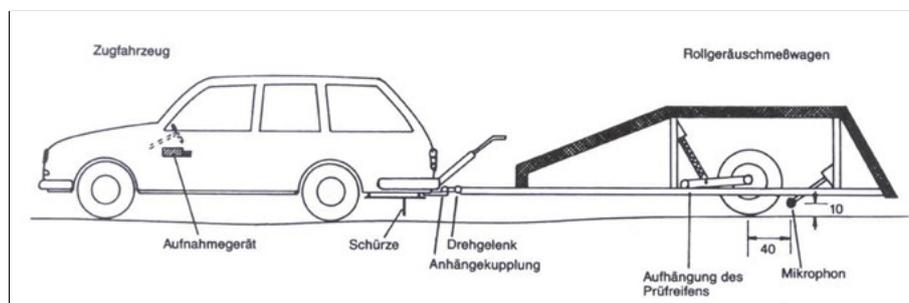


Abbildung 4.2: Prüfanordnung lt. RVS 11.06.64 [76]

Der Messanhänger besteht aus einem nach unten hin offenen Kasten mit einer schallabsorbierenden Ummantelung aus Entdröhnungsfolie und Absorptionsmatte. Die Schallemission wird mit einem seitlich des Messrades und einem hinter dem Messrad angebrachten Mikrophon gemessen. Die Mikrofone werden durch die Konstruktion des Messanhängers gegenüber Fremdgeräuschen weitgehend abgeschirmt.

Bei einer konstant bleibenden Fahrgeschwindigkeit des Zugfahrzeuges erfassen die beiden Mikrofone seitlich und hinter dem Messreifen den energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{eq}$  über einen gewissen Streckenabschnitt. Als Messreifen wird in Österreich der PIARC-Testreifen der Marke Maloya 65 R 15 verwendet. Dieser hat ein glattes Oberflächenprofil mit vier durchgehenden Längsrillen.

In Abbildung 4.3 ist die Anordnung der beiden Messmikrofone bei dem von "AIT - Austrian Institute of Technology" verwendeten RVS - Rollgeräusch- Messanhänger dargestellt.



**Abbildung 4.3:** Anordnung der Mikrofone im Rollgeräusch-Messanhänger von "AIT"

Abbildung 4.4 zeigt einen weiteren in Österreich verwendeten Rollgeräuschmessanhänger mit zugehörigem Messreifen.



**Abbildung 4.4:** Beispiel eines österr. Rollgeräuschmessanhängers und Detail des zugehörigen Messreifens (Photos: IFS Ziviltechniker Ges.m.b.H)

Vor Beginn jeder Messung muss der Reifen auf Betriebstemperatur gebracht werden. Dies geschieht lt. RVS durch eine mindestens 15-minütige Einfahrzeit. Der Temperaturbereich der Fahrbahndeckschicht für eine gültige Messung liegt zwischen 10°C und 40°C. Pro Messung sind mindestens zwei aufeinander folgende Einzelmessfahrten erforderlich, deren Ergebnisse sich nicht um mehr als 0,5 dB(A) unterscheiden dürfen, um als gültig gewertet werden zu können.

Aus den aufgezeichneten Rollgeräuschen wird für jedes Messmikrofon und jede Einzelmessfahrt der energieäquivalente A-bewertete Dauerschallpegel  $L_{A,eq}$  ausgewertet. Weiters ist bei der Messung eine Terzbandanalyse durchzuführen und die Terzbänder mit den Mittenfrequenzen von 250 Hz bis 10 kHz auszuwerten. Eine frequenzabhängige energetische Aufsummierung der Ergebnisse der beiden verwendeten Mikrofone ergibt den Wert  $LMA_e$  einer Messfahrt (siehe Formel 4.1).

Durch eine energetische Mittelung der Messfahrten errechnet sich schließlich der LMA-Wert, der den maßgeblichen Rollgeräuschpegel (LMA) und somit den Kennwert für das

Rollgeräusch darstellt.

$$LMA_e = 10 \cdot \lg \left( \sum_i 10^{L_{A,eq,t,i}/10} \right) \quad (4.1)$$

mit:

$LMA_e$	.....	maßgeblicher Rollgeräuschpegel einer Messfahrt [dB(A)]
$e$	.....	Messfahrt
$L_{A,eq,t,i}$	.....	A- bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel eines Messmikrofons in den Terzbändern $i$ [dB(A)]
$t$	.....	Messmikrofon
$i$	.....	Terzbänder

Der Wert  $L_{A,eq,t,i}$  ist dabei gleich dem energieäquivalenten A- bewerteten Terzbandpegel des hinteren Mikrofons, wenn dieser größer ist als der des seitlichen Mikrofons. Andernfalls ist der Wert  $L_{A,eq,t,i}$  der energetische Mittelwert über die A- bewerteten Terzbandpegel der beiden Mikrofone. Der maßgebliche Rollgeräuschpegel (LMA- Wert), der zur Beurteilung der untersuchten Fahrbahndeckschichten herangezogen wird, ergibt sich dann aus dem energetischen Mittelwert über die  $LMA_e$ - Werte der Einzelmessfahrten.

Bei der Auswertung der Messergebnisse ist darüber hinaus auf die Einhaltung der in der RVS geforderten Fahrbahnoberflächentemperatur von 20°C und einer vorher definierten Referenzgeschwindigkeit zu achten. Treten bei der Durchführung der Messungen Abweichungen davon auf, ist der Pegelwert  $L_{A,eq,t,i}$  wie folgt neu zu berechnen bzw. zu korrigieren [17]:

$$L_{A,eq,t,i,corr} = L_{A,eq,t,i} + \eta \cdot (T - T_0) - \varepsilon \cdot (v - v_0) \quad (4.2)$$

mit:

$L_{A,eq,t,i,corr}$	.....	temperatur- und geschwindigkeitskorrigierter A- bewerteter Terzbandpegel eines Mikrofons bei einer Messfahrt [dB(A)]
$L_{A,eq,t,i}$	.....	A- bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel eines Messmikrofons in den Terzbändern $i$ [dB(A)]
$\eta$	.....	Korrekturfaktor für Temperaturabweichungen von der Referenzoberflächentemperatur (20°C)
$T$	.....	Fahrbahnoberflächentemperatur [°C]
$T_0$	.....	Referenzoberflächentemperatur 20°C
$\varepsilon$	.....	Korrekturfaktor für Geschwindigkeitsabweichungen von der gewählten Referenzgeschwindigkeit
$v$	.....	Fahrgeschwindigkeit des Messfahrzeuges [km/h]
$v_0$	.....	Referenzgeschwindigkeit [km/h]

Die Korrekturfaktoren basierend auf der RVS 11.06.64 sind in den Tabellen 4.1 und 4.2 angeführt.

**Tabelle 4.1:** Korrekturfaktor  $\eta$  gem. RVS 11.06.64 [76]

$\Delta T$ IN °C	$\eta$ IN dB(A)
$-10 \leq \Delta T \leq 0$	0,1 dB(A)
$0 < \Delta T < 20$	0,07 dB(A)

mit:

$\Delta T = T - T_0$  ..... Fahrbahnoberflächentemperatur [°C] minus  
Referenztemperatur (20°C)

**Tabelle 4.2:** Korrekturfaktor  $\epsilon$  gem. RVS 11.06.64 [76]

MESSGESCHWINDIGKEIT $v$ IN [KM/H]	$\epsilon$ IN dB(A)		
	ZEMENTBETON WASCHBETON	OFFENPORIGER ASPHALT	DÜNNSCHICHTDECKE ASPHALTBETON
$27 < v \leq 50$	0,18 dB(A)	0,16 dB	0,19 dB(A)
$50 < v \leq 70$	0,18 dB(A)	0,16 dB	0,19 dB(A)
$70 < v \leq 80$	0,24 dB(A)	0,21 dB	0,25 dB(A)
$80 < v \leq 90$	0,27 dB(A)	0,16 dB	0,25 dB(A)
$90 < v \leq 105$	0,11 dB(A)	0,09 dB	0,12 dB(A)

Als Referenzgeschwindigkeiten werden in der RVS 11.06.64 für Autobahnen und Freilandstraßen 80 km/h oder 100 km/h, für Ortsgebiete 50 km/h und für verkehrsberuhigte Zonen 30 km/h vorgeschlagen. Die Messgeschwindigkeit darf aber nicht höher als die Projektierungsgeschwindigkeit gewählt werden.

#### 4.2.2 Rollgeräuschmessung gem. ISO/CD 11819-2

Ein auf internationaler Ebene entwickeltes Mess- und Auswerteverfahren für Rollgeräuschmessungen (ISO/CD 11819-2, CPX - Close Proximity Method) [28] erfolgt nach dem selben Prinzip wie die bereits beschriebene Messmethode. Allerdings unterscheidet sie sich von der österreichischen Methode vor allem durch die Verwendung von 4 verschiedenen Reifentypen, die die heutzutage in Europa verwendete Reifenpopulation repräsentieren sollen. Die folgenden Testreifen werden zur Zeit in Österreich verwendet:

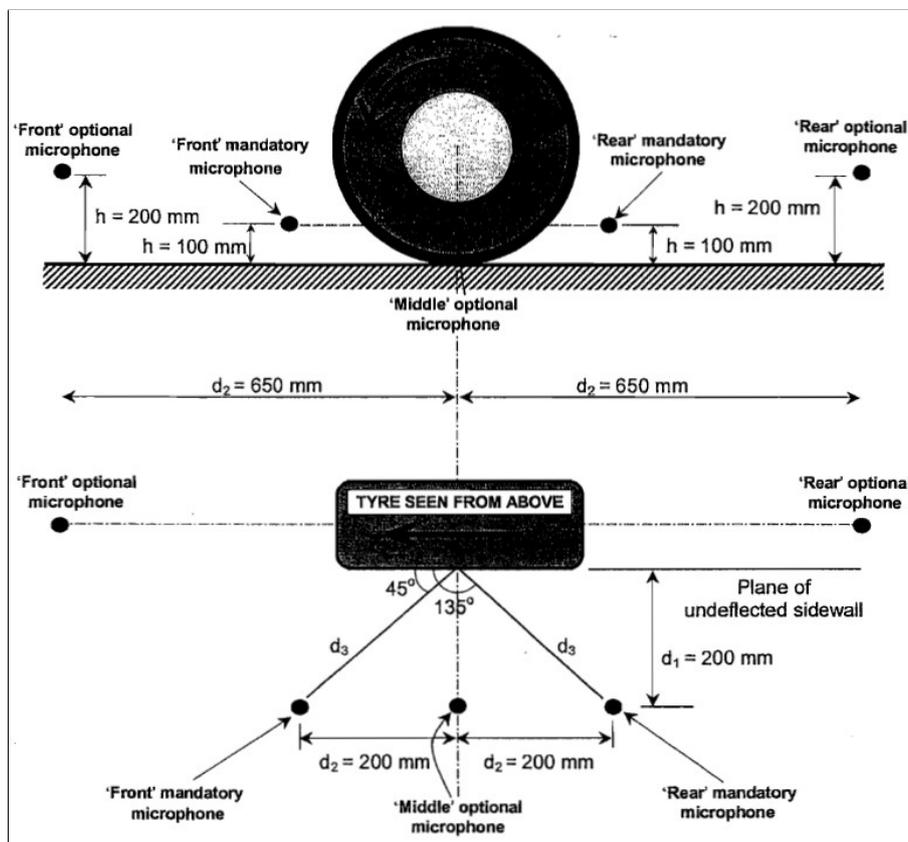
- Reifen A – Avon ZV1, Repräsentant für Sommerreifen
- Reifen B – Avon CR322, Repräsentant für Sommerreifen
- Reifen C – Kingstar W410, Repräsentant für Winterreifen
- Reifen D – Vredestein Transportsteel, Repräsentant für Lkw-Reifen

Abbildung 4.5 zeigt die vier verschiedenen Reifen.



**Abbildung 4.5:** Beispiel der in Österreich verwendeten CPX-Testreifen (Photo: IFS Ziviltechniker Ges.m.b.H)

CPX-Messungen werden mit mindestens zwei Mikrofonen durchgeführt, angeordnet unter  $45^\circ$  zur Rollrichtung des Testreifens. Die Mikrofonhöhen der obligatorischen Mikrofone betragen 10 cm bei einem Abstand zur Reifenwand von 20 cm. Für die zusätzlich möglichen Mikrofone sind eine Höhe von 10 cm bzw. 20 cm und ein Abstand von 20 cm zur Reifenwand vorgeschrieben. Die genaue Anordnung der Mikrofone ist in Abbildung 4.6 dargestellt.



**Abbildung 4.6:** Prinzipdarstellung der Mikrofonpositionen nach ISO/CD 11819-2 [28]

Für das zu verwendende Messfahrzeug gelten dieselben Bedingungen wie bei den Messungen nach RVS 11.06.64 (schallabsorbierende Auskleidung des Messanhängers). Während der

Durchführung der Messungen müssen jegliche Störgeräusche um mindestens 10 dB(A) unter dem aufgenommenen Messsignal liegen. Pro Messstrecke werden mindestens 2 aufeinander folgende Messfahrten durchgeführt, wobei sich die Ergebnisse um nicht mehr als 0,5 dB(A) unterscheiden dürfen. Die Messgeschwindigkeit ist während der Messfahrt auf  $\pm 20\%$  oder  $\pm 15$  km/h (strengere Bedingung gilt) genau konstant zu halten. Als Referenzgeschwindigkeiten werden nach ISO/CD 11819-2 50 km/h für Innerortsmessungen, 80 km/h für Messungen an Freilandstraßen und 110 km/h für Messungen an Autobahnen vorgeschlagen. Allerdings können diese je nach vorherrschendem Geschwindigkeitsprofil der zu messenden Strecke angepasst werden.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt in 20 m langen Abschnitten, die zu längeren Messstrecken zusammengefasst werden können (nach der österreichischen Methode erfolgt die Auswertung für 500 m- Abschnitte). Bei Abweichungen der Fahrgeschwindigkeit von der Referenzgeschwindigkeit und/oder bei einer Abweichung der Fahrbahnoberflächentemperatur von der Referenztemperatur von 20°C ist eine Pegelkorrektur der Werte  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_C$  und  $L_D$  nach folgender Formel vorzunehmen:

$$L_{j,corr} = L_{j,meas} - 35 \cdot \lg\left(\frac{v}{v_{ref,i}}\right) + K_j \cdot (20^\circ C - T) \quad (4.3)$$

mit:

$L_{j,corr}$	.....	geschwindigkeits- und temperaturkorrigierter Schallpegel der Messreifen A bzw. D [dB(A)]
$L_{j,meas}$	.....	gemessener Schallpegel der Messreifen A bzw. D [dB(A)]
$v$	.....	tatsächliche Fahrgeschwindigkeit des Messfahrzeuges [km/h]
$v_{ref,i}$	.....	Referenzgeschwindigkeit der Straßenkategorie $i$ [km/h]
$K_j$	.....	Korrekturfaktor für Abweichungen der Fahrbahnoberflächentemperatur von der Referenztemperatur von 20°C für die beiden Reifen A und D [23]:
		$K_{A,B,C} = -0,03 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$ für $T > 20^\circ\text{C}$
		$K_{A,B,C} = -0,06 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$ für $T < 20^\circ\text{C}$
		$K_D = -0,02 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$

Als Ergebnis einer Rollgeräuschmessung wird schließlich ein so genannter Close Proximity Index (CPXI) errechnet, der sich durch Aufsummierung der energieäquivalenten Dauerschallpegel der 4 bzw. 2 Messreifen nach Formel (4.4) bzw. (4.5) ergibt. Je nach Anzahl der verwendeten Messreifen wird zwischen Abnahmemessungen (Reifen A, B, C und D) und Überblicksmessungen (Reifen A und D) unterschieden.

$$CPXI = 0,2 \cdot L_A + 0,2 \cdot L_B + 0,2 \cdot L_C + 0,4 \cdot L_D \quad (4.4)$$

$$CPXI = 0,5 \cdot L_A + 0,5 \cdot L_D + 0,5 \quad (4.5)$$

mit:

CPXI	.....	Close Proximity Index
$L_A$	.....	energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens A [dB(A)]
$L_B$	.....	energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens B [dB(A)]
$L_C$	.....	energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens C [dB(A)]
$L_D$	.....	energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens D [dB(A)]

### 4.3 Messung des Vorbeifahrgeräusches

In der internationalen Norm ISO 11819-1 (SPB, Statistical Pass-By method) [74] wird ein Verfahren zum Vergleich des Verkehrsgeräusches auf unterschiedlichen Straßenoberflächen bei verschiedenen Verkehrszusammensetzungen festgelegt, mit dem Hintergrund, verschiedene Fahrbahndeckschichttypen im Zusammenwirken mit Fahrzeug und Reifen schalltechnisch miteinander vergleichen zu können. Das Verfahren kann somit entweder zur Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten hinsichtlich ihrer Einflüsse auf das Verkehrsgeräusch oder zur Bewertung des Einflusses verschiedener Fahrbahndeckschichten auf das Verkehrsgeräusch eingesetzt werden [74]. Es wird für frei fließenden Verkehr bei konstant gefahrenen Geschwindigkeiten von mindestens 50 km/h angewandt.

Vorbeifahrtmessungen haben den Vorteil, dass sie die Bedingungen vor Ort (direkt neben der Straße) widerspiegeln, also das Gesamtgeräusch einer Vorbeifahrt festhalten. Allerdings sind in der ISO 11819-1 strenge Anforderungen an den Messplatz und an die Umgebungsbedingungen gestellt (siehe Abbildung 4.7), sodass sich die Auffindung eines normgemäßen Messplatzes oft schwierig gestalten kann. Leitplanken oder Schutzwände, die sich innerhalb des grau markierten Rechteckes (in Abbildung 4.7) befinden, sind mit absorbierendem Material abzudecken. Weiters dürfen zwischen den Mikrofonen und dem Messfahrstreifen keine abschirmenden Leitplanken oder Schutzwände vorhanden sein (die Aufstellung des Mikrofons hat im akustischen Freifeld zu erfolgen, das nach [41] erst durch einen Freiraum von 50 m rund um den Messplatz gegeben ist).

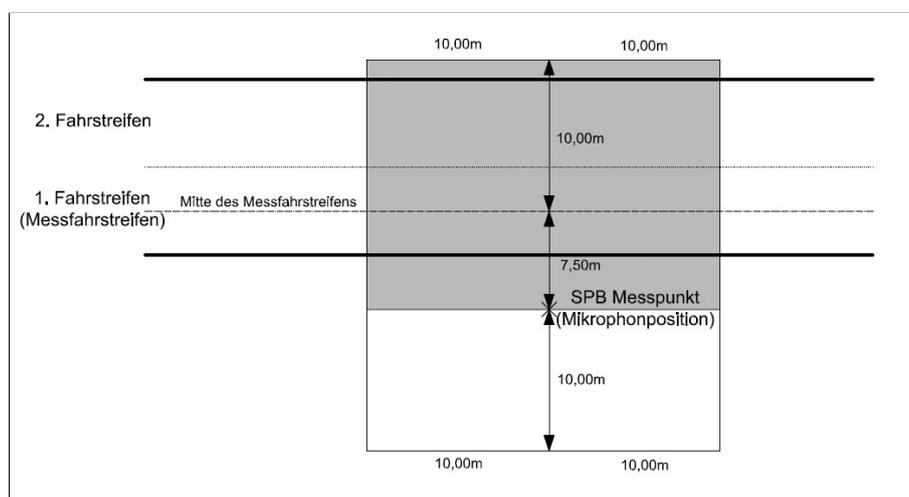


Abbildung 4.7: Schematische Darstellung des Messplatzes gem. ISO 11819-1 (nach [74])

Durch SPB-Messungen wird lediglich die Lärmsituation direkt am Messplatz erfasst, Messungen, die längere Streckenabschnitte betreffen (wie bei den Rollgeräuschmessungen) wären zwar theoretisch möglich, würden aber einen sehr hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand benötigen, und werden daher in der Praxis nicht durchgeführt. Schon der Zeitaufwand einer einzigen Vorbeifahrtmessung ist einigermaßen hoch und kann bis zu einem Tag pro Messplatz betragen.

Zur Berechnung des Index-Wertes SPBI dürfen nur jene Vorbeifahrten herangezogen werden, bei denen die jeweiligen Fahrzeuge akustisch eindeutig aus dem übrigen Straßenverkehr separiert werden können. Erst ab einer Differenz des Vorbeifahrtpegels zum Hintergrundgeräusch von mind. 6 dB(A) gilt diese Bedingung als erfüllt.

Abbildung 4.8 zeigt die Situation einer gültigen Vorbeifahrtmessung, Abbildung 4.9 die einer ungültigen Vorbeifahrtmessung, beide durchgeführt in Wien.



**Abbildung 4.8:** Beispiel für eine gültige Vorbeifahrtmessung gem. ISO 11819-1



**Abbildung 4.9:** Beispiel für eine ungültige Vorbeifahrtmessung gem. ISO 11819-1

Bei der Durchführung einer Vorbeifahrtmessung wird mit Hilfe eines Mikrofons seitlich der Fahrbahn (der Abstand des Mikrofons von der Mitte des zu messenden Fahrstreifens beträgt  $7,5 \pm 0,1$  m bei einer zugehörigen Mikrofonhöhe von  $1,2 \pm 0,1$  m über der Oberfläche des Fahrstreifens) der maximale A-bewertete Schalldruckpegel und die Geschwindigkeit einer statistisch signifikanten Anzahl einzelner Fahrzeuge aufgezeichnet.

Jedes registrierte Fahrzeug wird einer der drei folgenden Fahrzeugkategorien zugeordnet:

- Kategorie 1: Pkw – Personenkraftwagen oder andere leichte Fahrzeuge,
- Kategorie 2a: zweiachsige Lkw – Lastkraftwagen, Linien- und Reisebusse mit zwei Achsen und mehr als vier Rädern, und

- Kategorie 2b: mehrachsige Lkw – Lastkraftwagen, Linien- und Reisebusse mit mehr als zwei Achsen.

Zur Durchführung einer vollständigen Messserie sind mindestens 100 Pkw und 80 Lkw zu erfassen. Für die Fahrzeugkategorien zweiachsige Lkw und mehrachsige Lkw sind dabei mindestens je 30 Fahrzeuge notwendig.

Für jeweils drei definierte Geschwindigkeitsklassen der Straße

- niedrig: 45- 64 km/h,
- mittel: 65- 99 km/h und
- hoch: über 100 km/h

ist eine Referenzgeschwindigkeit in Abhängigkeit der drei Fahrzeugkategorien festgelegt (siehe Tabelle 4.3).

Diese drei Geschwindigkeitsklassen entsprechen den österreichischen Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“.

**Tabelle 4.3:** Referenzgeschwindigkeiten der drei Fahrzeugkategorien und zugehörige Verkehrszusammensetzung, angegeben durch die Bewertungsfaktoren  $W_x$  (nach [74])

FAHRZEUGKATEGORIE		STRASSENKATEGORIE					
		Stadtstraßen		sonstige Freilandstraßen		A+S	
Bezeichnung	Nr.	Referenz- geschw. [km/h]	$W_x$	Referenz- geschw. [km/h]	$W_x$	Referenz- geschw. [km/h]	$W_x$
Pkw	1	50	0,900	80	0,800	110	0,700
zweiachsige Lkw	2a	50	0,075	70	0,100	85	0,075
mehrachsige Lkw	2b	50	0,025	70	0,100	85	0,225

Für jede der drei Fahrzeugkategorien Pkw, zweiachsige Lkw und mehrachsige Lkw wird nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate eine Regressionsgerade des maximalen Vorbeifahrtgeräuschpegels über dem Logarithmus der Fahrgeschwindigkeit der einzelnen Fahrzeuge nach Formel (4.6) berechnet:

$$L_{SPB,veh} = A_{veh} + B_{veh} \cdot \lg(v) \quad (4.6)$$

mit:

$L_{SPB,veh}$	.....	maximaler Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugkategorien 1, 2a und 2b [dB(A)]
$A_1, A_{2a}$ und $A_{2b}$	.....	Grundwerte der Regressionsgleichung der Fahrzeugkategorien 1, 2a und 2b [dB(A)]
$B_1, B_{2a}$ und $B_{2b}$	.....	Steigungen der Regressionsgleichung der Fahrzeugkategorien 1, 2a und 2b

Die Vorbeifahrtpegel der einzelnen Fahrzeugkategorien  $L_1$ ,  $L_{2a}$  und  $L_{2b}$  werden durch eine Referenzierung auf die jeweilige Referenzgeschwindigkeit der Fahrzeugkategorien errechnet.

Das Ergebnis einer Vorbeifahrtmessung wird schließlich durch Zusammenfügen der Fahrzeuggeräuschpegel der drei Fahrzeugkategorien  $L_1$ ,  $L_{2a}$  und  $L_{2b}$  in einem SPB-Index dargestellt. Die Berechnung erfolgt nach der Formel:

$$SPBI = 10 \cdot \log_{10} \left[ W_1 \cdot 10^{L_1/10} + W_{2a} \cdot \left( \frac{v_1}{v_{2a}} \right) \cdot 10^{L_{2a}/10} + W_{2b} \cdot \left( \frac{v_1}{v_{2b}} \right) \cdot 10^{L_{2b}/10} \right] \quad (4.7)$$

mit:

SPBI	.....	statistischer Vorbeifahrtindex für eine Standardzusammensetzung aus Pkw und Lkw [dB(A)]
$L_1, L_{2a}$ und $L_{2b}$	.....	Geräuschpegel der Fahrzeugkategorien 1, 2a und 2b [dB(A)]
$W_1, W_{2a}$ und $W_{2b}$	.....	Bewertungsfaktoren, die den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorien am Verkehrsaufkommen je Geschwindigkeitsklasse entsprechen (siehe Tabelle 4.3 dieser Arbeit)
$v_1, v_{2a}$ und $v_{2b}$	.....	Referenzgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeugkategorien [km/h] (siehe Tabelle 4.3 dieser Arbeit)

Bei einer Abweichung der Temperatur der Fahrbahnoberfläche von der Referenztemperatur von  $20^\circ\text{C}$  hat eine Temperaturkorrektur für die Fahrzeugkategorie 1 (Pkw) nach der Formel (4.8) zu erfolgen.

$$L_1(20^\circ\text{C}) = L_1(T) + K \cdot (20^\circ\text{C} - T) \quad (4.8)$$

mit:

$L_1(20^\circ\text{C})$	.....	temperaturkorrigierter Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugkategorie 1 [dB(A)]
$L_1(T)$	.....	Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugkategorie 1 bei der Referenzgeschwindigkeit [dB(A)]
K	.....	Korrekturfaktor für Abweichungen der Fahrbahnoberflächentemperatur von der Referenztemperatur von $20^\circ\text{C}$ [23]: $K = -0,03 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$ für $T > 20^\circ\text{C}$ $K = -0,06 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$ für $T < 20^\circ\text{C}$
T	.....	Temperatur der Fahrbahnoberfläche bei der Messung [ $^\circ\text{C}$ ]

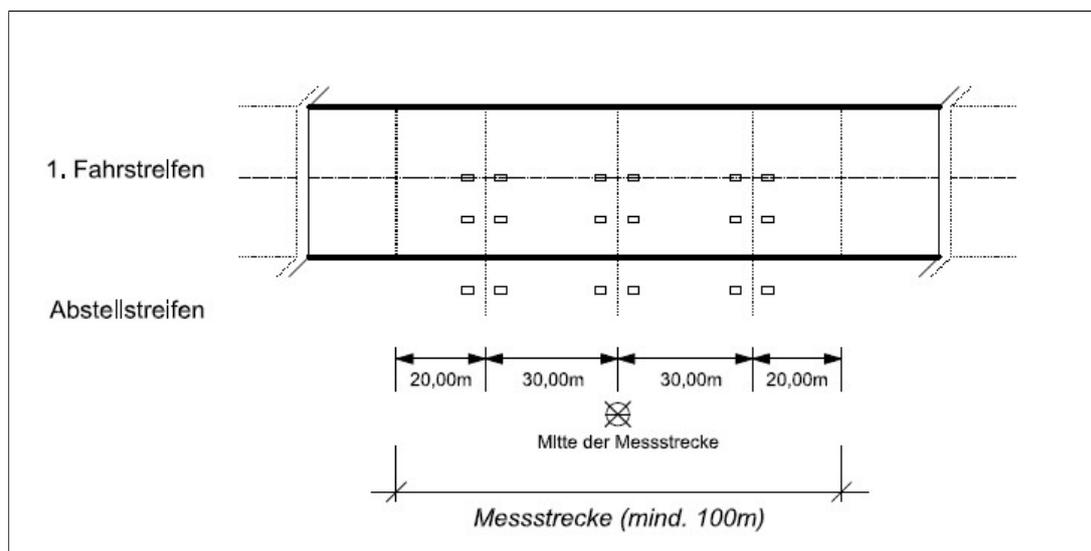
Abweichend von der ISO-Norm werden Vorbeifahrtmessungen oft als so genannte kontrollierte Vorbeifahrtmessungen durchgeführt. Dabei werden unter den in der ISO 11819-1 definierten Umgebungsbedingungen Messungen an vorher ausgewählten Fahrzeugen durchgeführt. Damit sollen die sonst auftretenden großen Streuungen in den Messergebnissen vermieden werden, die aufgrund von verschiedener Motorisierung, Bereifung oder unterschiedlichem Alter der Fahrzeuge, auftreten. Ebenso können diese Messungen mit definierten Fahrgeschwindigkeiten, bei Beschleunigung oder bei reinem Vorbeirollen der Fahrzeuge an der Messstelle durchgeführt werden.





**Abbildung 4.11:** Messeinrichtung zur Bestimmung der Ausflusszeit

Für einen vollständigen Messdurchgang sind Messungen an insgesamt drei Messstellen notwendig. Die Messstellen befinden sich dabei einerseits in der Mitte einer 100 m langen Messstrecke und andererseits jeweils in einer Entfernung von 30 m zur mittleren Messstelle. Die Anordnung der Messstellen ist in Abbildung 4.12 dargestellt.



**Abbildung 4.12:** Schematische Darstellung der Messstellen für die Messung des Drainverhaltens

Je Messstelle sind an insgesamt 6 Messpunkten Messungen des Drainverhaltens durchzuführen. Die Messstellen befinden sich jeweils am Abstellstreifen (MP1 und MP2), in der Rollspur (MP3 und MP4) des ersten Fahrstreifens und in der Fahrstreifenmitte (MP5 und MP6) des ersten Fahrstreifens (siehe Abbildung 4.13). Abbildung 4.14 zeigt ein Beispiel für die Anordnung der Messpunkte bei der Messung des Drainverhaltens. Bei den beiden

Straßenkategorien “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ tritt in der Regel kein Abstellstreifen auf, in diesen Fällen sind die beiden Messpunkte MP1 und MP2 nicht zu berücksichtigen.

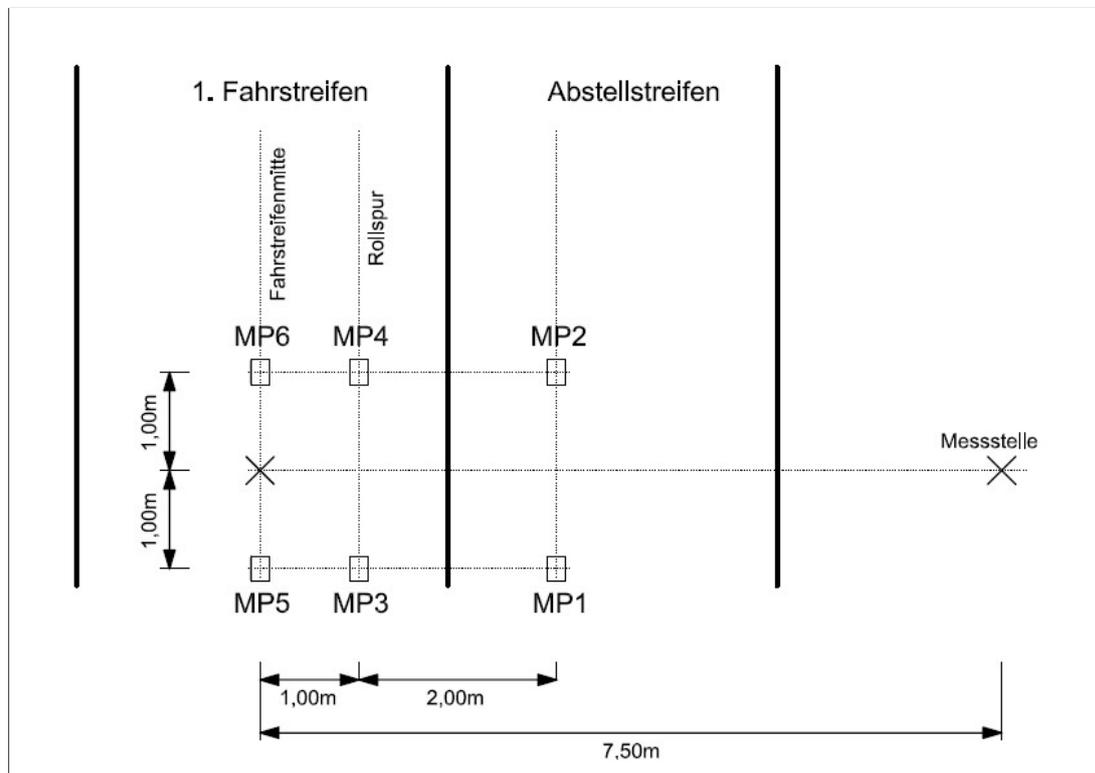


Abbildung 4.13: Schematische Darstellung der Messstellen für die Messung des Drainverhaltens einer offenporigen Fahrbahndeckschicht

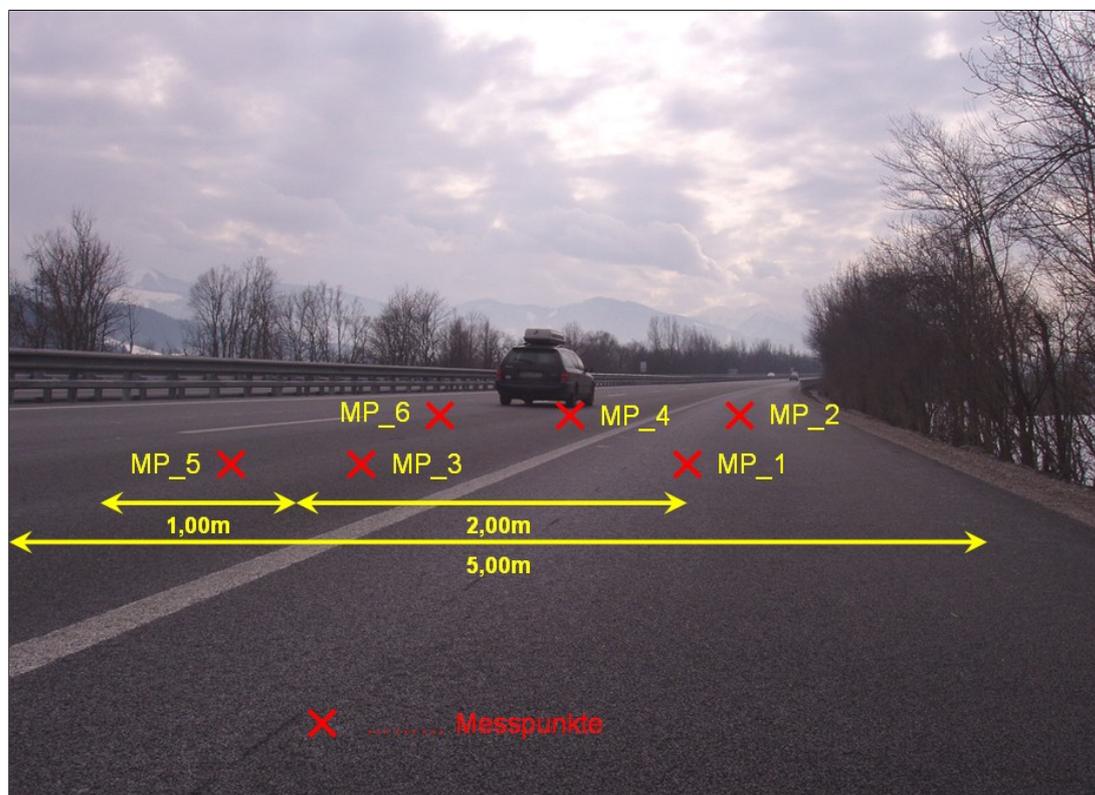


Abbildung 4.14: Beispiel für die Anordnung der Messpunkte für die Messung des Drainverhaltens einer offenporigen Fahrbahndeckschicht

Bei jeder Messung wird die Durchflusszeit  $t$  in Sekunden mittels eines Durchflusszylinders gemessen. Für eine vollständige Messung sind an jedem Messpunkt mind. 2 Messdurchgänge durchzuführen. Die Auswertung erfolgt in einem ersten Schritt durch eine Mittelwertbildung der Durchflusszeiten  $t_i$  je Messpunkt  $MP$ . Danach werden die Messergebnisse am Abstellstreifen (MP1 und MP2), in der Rollspur (MP3 und MP4) und in der Fahrstreifenmitte (MP5 und MP6) nach der Formel (4.9) aufsummiert.

$$T_{Drain} = \frac{\sum_i t_i}{i}, i \geq 4 \quad (4.9)$$

In weiterer Folge werden die Messergebnisse je Messstelle  $MS, n$  nach Formel (4.10) zusammengefasst.

$$T_{Drain,MS,n} = \frac{\sum_n T_{Drain}}{n}, n = 3 \quad (4.10)$$

$T_{Drain,MS,n}$  stellt schließlich das Ergebnis der Durchflussmessungen an der Messstelle  $MS, n$  dar.

#### 4.4.2 Absorptionsmessung

Das Prüfverfahren nach DIN ISO 13472-1 [78] ermöglicht die Bewertung der Schallabsorptionseigenschaften einer Straßenoberfläche, ohne diese zu beschädigen. Es beruht auf der Ausbreitung eines Prüfsignals von einer Schallquelle zur Straßenoberfläche und zurück zu einem Empfänger im Freifeld. Dabei wird eine Fläche von etwa  $3 \text{ m}^2$  erfasst und ein Frequenzbereich (in Terzbändern) von 250 Hz bis 4 kHz abgedeckt.

Zur Messung des Schallabsorptionsgrades von Straßenoberflächen vor Ort bei senkrechtem Schalleinfall wird von einer Schallquelle in einem definierten Abstand  $d_S = 1,25 \text{ m}$  ein Signal auf die Fahrbahnoberfläche gesandt. Dieses Signal wird einerseits direkt von einem in der Nähe der Fahrbahnoberfläche angeordneten Mikrofon ( $d_m = 0,25 \text{ m}$ ) aufgenommen und andererseits von demselben Mikrofon nach der Reflexion an der Fahrbahnoberfläche registriert (siehe Abbildung 4.15).

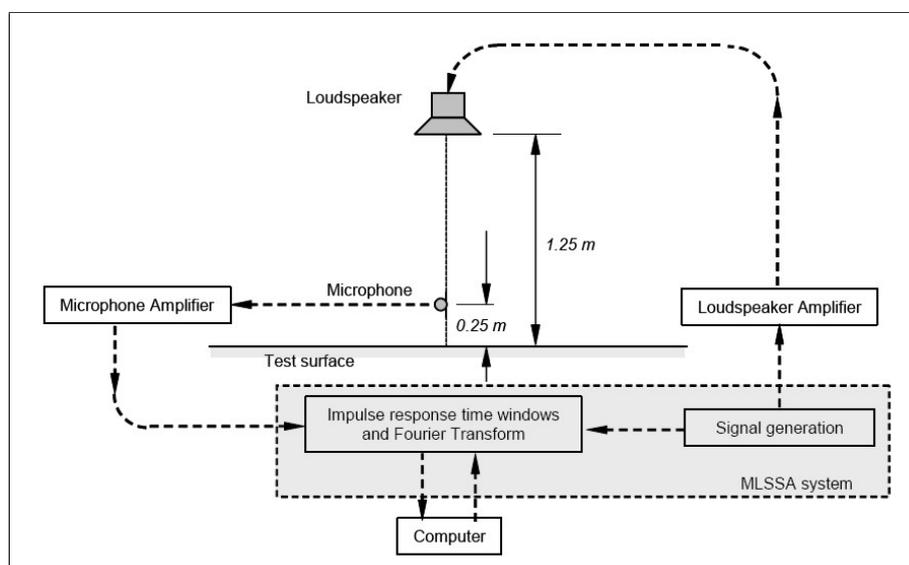


Abbildung 4.15: Messanordnung für eine gültige Messung des Schallabsorptionsgrades (gem. [78])

Die gesamte Impulsantwort, die den direkten und den reflektierten Schall beinhaltet, wird über einen gewissen Zeitbereich gemessen. Diese Impulsantwort besteht aus der Impulsantwort des Direktschallweges und derjenigen des Reflexionsschallweges nach einiger Verzögerung wegen der längeren zurückzulegenden Strecke (Laufzeitunterschied). Die Differenz dieser beiden Aufnahmen charakterisiert schließlich die Absorptionseigenschaften der Fahrbahndeckschicht. Mittels geeigneter Verarbeitung im Zeitbereich (z.Bsp. Signal-subtraktion und zeitliche Separation) können diese Impulsantworten getrennt werden. Nach einer Fouriertransformation ergeben sich die Übertragungsfunktionen für den Direktschallweg  $H_i(f)$  und für den Reflexionsschallweg  $H_r(f)$ . Das Verhältnis der quadrierten Beträge dieser Übertragungsfunktionen ergibt den Schallreflexionsgrad  $Q_w(f)$ , aus dem der frequenzabhängige Schallabsorptionsgrad folgendermaßen berechnet werden kann [78]:

$$\alpha(f) = 1 - Q_w(f) = 1 - \frac{1}{K_r^2} \cdot \left| \frac{H_r(f)}{H_i(f)} \right|^2 \quad (4.11)$$

mit:

$\alpha(f)$	.....	Schallabsorptionsgrad [-]
$Q_w(f)$	.....	Schallreflexionsgrad [-]
$K_r = \frac{d_s - d_m}{d_s + d_m}$	.....	geometrische Dämpfung
$H_r(f)$	.....	Abstand zwischen der Schallquelle und der Bezugsebene der Prüfoberfläche [m]
$H_i(f)$	.....	Abstand zwischen dem Mikrofon und der Bezugsebene der Prüfoberfläche [m]

Die Messungen sind nur bei trockener Straßenoberfläche durchzuführen. Zur Wahl des Messplatzes ist festzustellen, dass für die Messung im Wesentlichen Freifeldbedingungen vorliegen müssen, d.h., es dürfen keine Reflexionen von anderen Gegenständen als der Prüfoberfläche auftreten. Fremdgeräusche müssen sich in jedem Terzband zwischen 250 Hz und 4 kHz um mindestens 10 dB(A) vom aufgenommenen Signal unterscheiden. Die Windgeschwindigkeit am Mikrofon darf während der Messung nicht höher als 5 m/s sein und die Temperatur der Straßenoberfläche muss zwischen 0°C und 50°C liegen (Lufttemperatur zwischen 0°C und 35°C). Um die Einflüsse von Fremdgeräuschen und meteorologischen Schwankungen so gering wie möglich zu halten, empfiehlt es sich daher, mindestens 50 Impulsantworten zu erfassen und diese dann zu mitteln.

Die Anordnung der Messstellen sowie der Messpunkte erfolgt in der selben Art und Weise wie bei den Messungen des Drainverhaltens. Für die Messung der Absorptionskoeffizienten der offenporigen Fahrbahndeckschicht sind je Messpunkt mindestens 2 Messdurchgänge durchzuführen. Die Berechnung der Absorptionsspektren erfolgt nach einer Spektralanalyse. Dabei wird für jedes Terzband  $i$  der Absorptionskoeffizient  $\alpha_{i,MP}$  an jedem Messpunkt  $MP$  bestimmt. Aus diesen Absorptionskoeffizienten je Terzband  $i$  wird der maximale Absorptionskoeffizient des Messpunktes  $MP, n$  je Messung aus der Formel (4.12) ermittelt.

$$\alpha_{MP,n} = \text{Max} \{ \alpha_{i,MP,n} \} \quad (4.12)$$

Dieser Wert stellt das Ergebnis der Absorptionsmessung einer offenporigen Fahrbahndeckschicht dar.

### 4.4.3 Texturmessung

Die Messung der Oberflächentextur auf dem hochrangigen Straßennetz erfolgt in Österreich gemäß RVS 11.06.66 [79] mit einem modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser - System RoadSTAR (siehe Abbildung 4.16). Die Texturmesseinrichtung bestehend aus einem Hochleistungs-Präzisionslasermessgerät erfasst die Oberfläche der untersuchten Fahrbahn-deckschicht in 127 mm langen Einzelprofilen, die jeweils einen Meter in Längsrichtung voneinander entfernt sind. Von jedem Einzelprofil wird die mittlere Profiltiefe (MPD - Mean Profile Depth) berechnet. Schließlich wird dann durch arithmetisches Mitteln der MPD-Wert für jeweils 50 m- Abschnitte ermittelt.



Abbildung 4.16: Messsystem RoadSTAR zur Messung der Oberflächentextur [79]

Die Messung der Oberflächentextur kann allerdings auch nach der so genannten Sandfleckmethode durchgeführt werden (siehe [80]). Dabei wird die mittlere Texturtiefe gemessen, indem eine bestimmte Menge eines Standard-Sandes kreisförmig an der Fahrbahnoberfläche verteilt wird. Je kleiner der Sandfleck dabei gerät, desto höher ist die Rauhtiefe.

## 5. KAPITEL

# LÄRMMINDERNDE DECKSCHICHTTYPEN IM STRASSENBAU

## 5.1 Grundlagen

### 5.1.1 Definition einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht

Für den Begriff “lärmindernd“ existiert ebenso wie für das Wort “Lärm“ keine eindeutige Definition (siehe auch Abschnitt 2.1.4 dieser Arbeit). Auf der Suche nach einer geeigneten Erklärung hilft die Enzyklopädie »Wikipedia« weiter. Hier wird unter “Reduktion“ folgendes verstanden:

» *Das Wort Reduktion (Verb reduzieren) ... bedeutet in der gehobenen Alltagssprache eine Verringerung des Ausmaßes einer Eigenschaft. Dies kann sich sowohl auf messbare Größen (wie zum Beispiel Anzahl, Umfang, Gewicht) als auch auf abstrakte Größen beziehen.* «

Es stellt sich somit die Frage, ab welchem Pegelwert (ab welcher Schallpegelreduktion) eine Fahrbahndeckschicht zu einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht gezählt werden kann. Aus diesem Grund ist es notwendig, eine Referenzfahrbahndeckschicht zu definieren, die sozusagen den “Null-Zustand“ der Lärmemission darstellt. Durch einen direkten Vergleich mit dieser Referenzfahrbahndeckschicht lässt sich dann das Lärminderungspotenzial jeder anderen Fahrbahndeckschicht bestimmen.

Hinsichtlich des Empfindens von Schallereignissen des menschlichen Ohres, nach dem Schallpegeländerungen erst ab Differenzen von 2-3 dB(A) deutlich erkennbar sind (siehe auch Kapitel 2.1.4), würde es sinnvoll erscheinen, Fahrbahndeckschichten erst ab einer Pegeldifferenz (geringerer Pegelwert) von mindestens 2 dB(A) zu einer Referenzfahrbahndeckschicht als “lärmindernd“ zu bezeichnen.

U. Sandberg [30] gibt folgende Definition einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht:

» *A low noise road surface is a road surface which, when interacting with a rolling tyre, influences vehicle noise in such a way as to cause at least 3 dB(A) (half power) lower vehicle noise than that obtained on conventional and most common road surfaces.* «

In der Realität wird eine Fahrbahndeckschicht allerdings oftmals auch als lärmindernd bezeichnet, wenn diese eine leisere Performance als ihre konventionelle Ausführung besitzt (z.Bsp.: Beton - Waschbeton, Dünnschichtdecke - lärmindernde Dünnschichtdecke, ...). Auch diese Definition erscheint durchaus logisch, da es sich im Vergleich zur konventionellen bei der lärmindernden Ausführung wirklich um eine Fahrbahndeckschicht mit geringeren Lärmemissionen handelt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird allerdings die erstere Definition einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht bevorzugt, indem in einem ersten Schritt eine Referenzfahrbahndeckschicht in ihrer Bauweise und in ihrer Mischgutzusammensetzung genau definiert wird. Dieser Referenzfahrbahndeckschicht können in einem weiteren Schritt aufgrund zahlreicher durchgeführter Lärmmessungen in eindeutiger Art und Weise Lärmemissionen zugeordnet werden. Diese Lärmemissionswerte beziehen sich in erster Linie auf den Neuzustand der Fahrbahndeckschicht. Für eine vollständige Beschreibung des Lärmemissionsverhaltens der Referenzfahrbahndeckschicht sind aber ebenso Emissionswerte über das Langzeitverhalten (über die Liegedauer) der Fahrbahndeckschicht notwendig.

Als Referenzfahrbahndeckschicht kann somit nur ein Fahrbahndeckschichttyp in Frage kommen, der bereits ausreichend lärmtechnisch untersucht ist (sowohl im Neuzustand als auch während seiner Liegedauer).

### 5.1.2 Definition einer Referenzfahrbahndeckschicht

Eine Referenz soll, wie bereits erwähnt, den “Null-Zustand“ darstellen. Für die Untersuchung der Schallemissionen von Fahrbahndeckschichten ist es sinnvoll, als Referenzfahrbahndeckschicht einen Fahrbahndeckschichttyp zu definieren, der auch hinreichend gut bekannt bzw. erforscht ist. Bei der Betrachtung der im österreichischen hochrangigen Straßennetz eingesetzten Fahrbahndeckschichttypen fällt als Referenzfahrbahndeckschicht eindeutig ein Splittmastixasphalt mit Größtkorn 11 mm (SMA 11) in die engere Auswahl. Dieser Fahrbahndeckschichttyp ist normativ eindeutig geregelt und wird heutzutage auf über 40% des österreichischen hochrangigen Streckennetzes angewandt (siehe dazu [81]). Aufgrund des vielfachen praktischen Einsatzes ist dieser Fahrbahndeckschichttyp auch in Bezug auf sein Langzeitverhalten gut einschätzbar. Dieses Wissen betrifft sowohl die strukturelle als auch die akustische Lebensdauer der Fahrbahndeckschicht. Weiters existieren bereits umfangreiche Datenmengen durchgeführter Rollgeräusch- und Vorbeifahrtmessungen an verschiedenen Strecken mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus. Somit ist der Splittmastixasphalt auch lärmtechnisch gut erfasst, und das nicht nur im Neuzustand, sondern auch über die Lebensdauer der Fahrbahndeckschicht.

Ein weiterer Grund zur Auswahl einer Splittmastixasphaltdeckschicht als Referenz ist die Wahrung der Kontinuität zu europäischen Forschungsprojekten und zu verwendeten Referenzfahrbahndeckschichten in anderen europäischen Ländern (siehe hierzu Abschnitt 6.4 dieser Arbeit). Als Beispiel für Forschungsprojekte seien hier einerseits das EU-Projekt SILVIA und andererseits die EU-Projekte HARMONOISE bzw. IMAGINE genannt. In diesen Forschungsprojekten wird die Verwendung von Splittmastixasphalt mit Größtkorn 11 bis Größtkorn 16, sowie auch von Asphaltbeton mit Größtkorn 11 bis Größtkorn 16, als Referenzfahrbahndeckschicht vorgeschlagen und angewandt (siehe [1] und [82]). Im Sinne einer direkten Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit diesen europäischen Messkampagnen erscheint es daher auch sinnvoll, eine ähnliche Referenzfahrbahndeckschicht als Grundlage der akustischen Klassifizierung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten zu wählen.

All diese Argumente führen dazu, dass im Rahmen dieser Arbeit ein Splittmastixasphalt mit Größtkorn 11 mm (SMA 11) als Referenzfahrbahndeckschicht für das entwickelte Bewertungssystem lärmindernder Fahrbahndeckschichten herangezogen wird.

## 5.2 Materialtechnische Beschreibung der in Österreich standardmäßig eingesetzten lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen

### 5.2.1 Allgemeines

In der Richtlinie 89/106/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte [83] (Bauproduktenrichtlinie) wird festgelegt, dass Bauwerke wesentlichen Anforderungen (übergeordneten und speziellen Kriterien) genügen müssen. Diese wesentlichen Anforderungen bilden die Grundlage für die Erstellung harmonisierter Normen für Bauprodukte auf europäischer Ebene.

Gemäss [83] sollen harmonisierte Normen Klassifizierungen enthalten, aufgrund deren Bauprodukte in Verkehr gebracht werden können, die den wesentlichen Anforderungen entsprechen und die in Übereinstimmung mit den Rechtsvorschriften und den durch die örtlichen klimatischen und sonstigen Gegebenheiten gerechtfertigten herkömmlichen technischen Verfahren erzeugt und verwendet werden.

Derartige Produkte sind unmittelbar durch eine CE-Kennzeichnung erkenntlich zu machen. Die Konformität der Produkte mit den harmonisierten Normen und den auf Gemeinschaftsebene anerkannten nicht harmonisierten technischen Spezifikationen ist durch Verfahren der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) und der Überwachung, Prüfung, Beurteilung und Zertifizierung durch unabhängige qualifizierte Stellen oder durch den Hersteller selbst sicherzustellen.

Diese Konformität mit der zugehörigen Produktnorm ist in der so genannten Erstprüfung nachzuweisen. Die Erstprüfung soll somit Sicherheit geben, dass eine bestimmte Mischgutzusammensetzung einer Fahrbahndeckschicht jede der in den Produktnormen gestellte Anforderung auch erfüllt (siehe ÖNORMEN 13108-20 [84]). Der Nachweis der Eigenschaften kann dabei durch eine Validierung im Labor und/oder durch eine Validierung aus der Produktion durch den Einbau von Asphaltmischgut an einer Teststrecke oder im realen Verkehr erfolgen und wird in einem Erstprüfungs-Bericht festgehalten. Der Einbau des Mischgutes hat dabei den Anforderungen gem. RVS 08.16.01 [85] zu genügen.

Kann der Konformitätsnachweis erbracht werden, erhält das Produkt eine CE-Kennzeichnung. In diesem Fall kann auch davon ausgegangen werden, dass das Produkt die mit der CE-Kennzeichnung angegebenen Leistungseigenschaften erfüllt. Mit anderen Worten bedeutet das, dass diese Eigenschaften bei einem Einsatz des Produktes in der Praxis nicht mehr nachgewiesen werden müssen.

Eine Wiederholung der Validierung der Produkteigenschaften unter Verwendung der Erstprüfung hat in Abständen von max. 5 Jahren zu erfolgen.

Im Folgenden werden die in Österreich am häufigsten eingesetzten Fahrbahndeckschichttypen

- Splittmastixasphalt und
- Asphaltbeton

im Hinblick auf die bei der Erstprüfung nachzuweisenden Anforderungen detailliert beschrie-

ben (siehe Abschnitte 5.3 und 5.4 dieser Arbeit). Bei der Beschreibung des Splittmastixasphaltes wird dabei besonders auf die gewählte Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11 eingegangen. Danach werden die in Österreich standardmäßig eingesetzten lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen

- einlagiger- bzw. zweilagiger offenporiger Asphalt,
- lärmindernder Splittmastixasphalt,
- lärmindernde Dünnschichtdecke und
- Waschbeton

beschrieben (siehe Abschnitte 5.5 - Asphaltbauweisen und 5.6 - Betonbauweisen dieser Arbeit). Die materialtechnische Beschreibung ergänzt durch Ergebnisse aus vorhandenen Lärmmessungen erfolgt dabei jeweils nach den Gesichtspunkten:

- Beschreibung der Bauweise
- Anforderungen bei der Erstprüfung (an Aufbau und Mischgutzusammensetzung)
- Anforderungen bei der Abnahmeprüfung (an das Asphaltmischgut und an die fertige Schicht)
- Anforderungen vor Ablauf der Gewährleistungsfrist (an die Oberflächeneigenschaften)
- Betrachtung des Lärminderungspotenziales

Die Betrachtung des Lärminderungspotenziales der beschriebenen Fahrbahndeckschichttypen erfolgt jeweils durch einen Vergleich der Lärmemissionswerte der verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen mit denen der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11.

## 5.2.2 Stand der Normung in Österreich

### 5.2.2.1 Asphaltbauweisen

Mit Dezember 2006 wurden die österreichischen Richtlinien und Normen durch die Herausgabe der österreichischen Normen ÖNORM B 3580 bis ÖNORM B 3586 den harmonisierten europäischen Normen der Serie ÖNORM EN 13108ff angepasst. Grundsätzlich beschreiben diese Normen die empirischen Anforderungen an die Mischgutzusammensetzungen im Hinblick auf die gewählte bzw. zulässige Gesteinskombination sowie das Bindemittel [86]. Ebenso wurden mit dieser Anpassung auch die Begriffsbestimmungen und Abkürzungen der Mischgutsorten geändert und in der RVS 01.02.12 festgehalten (siehe [87]). Die für diese Arbeit relevanten Begriffsbestimmungen sind in Abbildung 5.1 zusammengefasst.

**Tabelle 5.1:** Begriffsbestimmungen von (lärmindernden) Fahrbahndeckschichten (nach [87])

ABKÜRZUNG	FAHRBAHNDECKSCHICHTTYP
SMA	Splittmastixasphalt
AC deck	Asphaltbetondeckschicht als polymermodifizierter Walzasphalt
PA	Porous Asphalt, offenporiger Asphalt
SMA, S3	lärmindernder Splittmastixasphalt
BBTM	Béton bitumineux très mince, lärmindernde Dünnschichtdecke

Ab dem 1.3.2008 müssen alle in Österreich verwendeten Asphaltmischguttypen das CE-Kennzeichen gem. den EN 13108ff-Normen besitzen, wenn sie im österreichischen, wie auch im EU-Binnenmarkt gehandelt und eingebaut werden sollen [88]. Die österreichischen Normen der Serie ÖNORM B 3580ff sind in der Zwischenzeit überarbeitet und aktualisiert worden und stehen zurzeit in der Fassung vom Dezember 2009 zur Verfügung. Als Erweiterungen sind für die Fahrbahndeckschichttypen

- Asphaltbeton,
- Splittmastixasphalt und
- offenerporiger Asphalt

seit November 2010 gebrauchungsverhaltensorientierte Anforderungen an das Mischgut in den Normen ÖNORM B 3580-2 für Asphaltbeton [89], ÖNORM B 3584-2 für Splittmastixasphalt [90] und ÖNORM B 3586-2 für offenerporigen Asphalt [91] angegeben.

Weiters wurden die maßgeblichen österreichischen Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen an diese Umstellung angepasst und mit Februar 2010 aktualisiert (allerdings nicht für die gebrauchungsverhaltensorientierten Anforderungen an das Mischgut). Demnach sind die Anforderungen an das Asphaltmischgut bei der Abnahmeprüfung in der RVS 08.97.05 [92] und die Anforderungen an Asphalttschichten in der RVS 08.16.01 [85] geregelt. In Tabelle 5.2 sind die zu erbringenden Nachweise einer Fahrbahndeckschicht und deren Mischgutzusammensetzung zusammengefasst.

**Tabelle 5.2:** Nachweis der Anforderungen an Fahrbahndeckschichten

ANFORDERUNG	NACHWEIS GEREGLT IN DER
an das Asphaltmischgut bei der Erstprüfung	ÖNORM- Serie B 3580ff
an das Asphaltmischgut bei der Abnahmeprüfung	RVS 08.97.05 [92]
an die fertige Asphalttschicht	RVS 08.16.01 [85]
an die Prüfung und Abrechnung	RVS 11.03.21 [93]

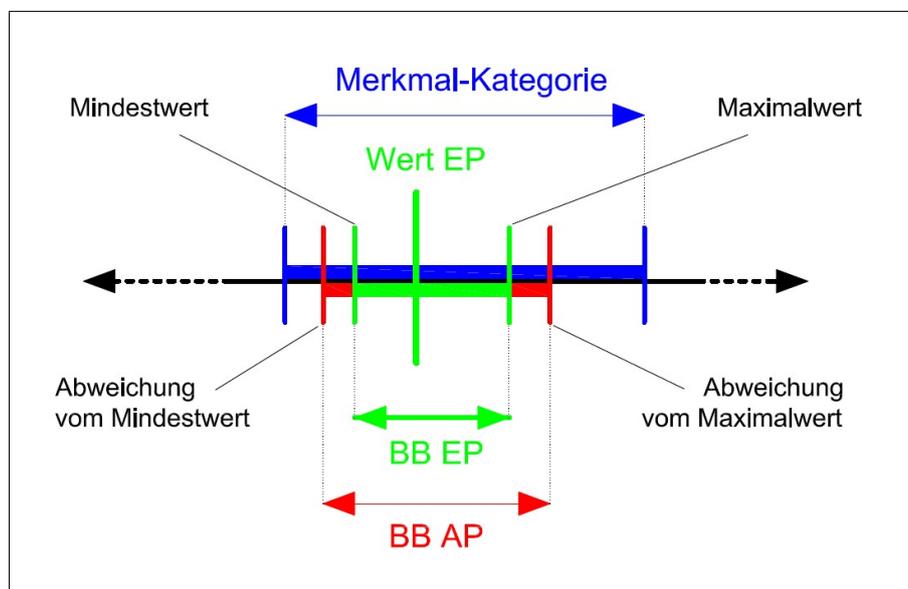
### *Nachweise bei der Erstprüfung*

Die harmonisierten europäischen Normen der Serie ÖNORM EN 13108ff legen Leistungsanforderungen an das Asphaltmischgut fest, die in Österreich in der ÖNORM-Serie B 3580ff (in den Produktnormen) umgesetzt sind. In jeder Produktnorm werden für einen speziellen Fahrbahndeckschichttyp (bzw. für eine spezielle Fahrbahndeckschichtfamilie) Anforderungen an die verwendeten Materialien und dessen Eigenschaften (Parameter) im Rahmen einer Klasseneinteilung festgelegt. Diese Klasseneinteilung erfolgt durch Angabe von Bandbreiten für jeden dieser Parameter, der so genannten “Merkmal-Kategorie“ (siehe Abbildung 5.1). Der Hersteller einer Fahrbahndeckschicht kann bei der CE-Kennzeichnung des Produktes unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Erstprüfung und der zulässigen Bandbreiten, der “Merkmal-Kategorien“, produktionsbedingte Schwankungsbereiche unter Angabe eines Maximal- und eines Minimalwertes deklarieren (“Merkmal-Bandbreite“). Die Größen dieser Schwankungsbereiche sind dabei für jeden Parameter in den zugehörigen Produktnormen geregelt.

Im Erstprüfbericht sind schließlich die technischen Eigenschaften des Asphaltmischgutes (anhand der Prüfergebnisse für alle geforderten Parameter), die Produktbandbreiten (die “Merkmal-Kategorien“) und die deklarierten Bandbreiten der CE-Kennzeichnung (die “Merkmal- Bandbreiten“) anzugeben [93].

Bei einer weiteren Erstprüfung sind für diese spezielle Mischgutzusammensetzung vom Hersteller oder von einer zertifizierten Stelle für jeden Parameter die “Merkmal- Bandbreiten“ nachzuweisen. Ist dies möglich, so erhält das Produkt eine CE- Kennzeichnung. Die Erstprüfung ist spätestens 2 Wochen vor Einbaubeginn dem Auftraggeber vorzulegen und kann bis zu 5 Jahre gültig sein [92].

Der Hersteller einer neu entwickelten Mischgutzusammensetzung kann die Bandbreiten der einzelnen Parameter innerhalb einer selbst deklarierten “Merkmal- Bandbreite“ festlegen, die innerhalb der “Merkmal- Kategorie“ zu liegen hat, die wiederum gemäß den Produktnormen (ÖNORM- Serie B 3580ff) für jeden Parameter festgelegt ist (siehe Abbildung 5.1), eine Zuordnung zu einer Fahrbahndeckschichtfamilie hat somit immer stattzufinden.



**Abbildung 5.1:** Schematische Darstellung der Merkmal-Bandbreite bzw. der Merkmal-Kategorie (nach [92])

mit:

EP	.....	Erstprüfung
Wert EP	.....	Parameterwert bei der Erstprüfung
Merkmal- Kategorie	.....	in den Produktnormen (ÖNORM- Serie B 3580ff) festgelegte Bandbreiten für jeden Parameter
BBEP	.....	Merkmal- Bandbreite: vom Hersteller festgelegter Mindest- und Maximalwert eines Parameters (muss innerhalb der Merkmal-Kategorie liegen)
BBAP	.....	Bandbreite bei der Abnahmeprüfung, Merkmal-Bandbreite $\pm$ festgelegte Toleranzen (siehe [85] und [92])

### *Nachweise bei der Abnahmeprüfung*

Die Abnahmeprüfung ist ein Verfahren der Qualitätssicherung, bei der ermittelt wird, ob die Fahrbahndeckschicht entweder mit oder ohne Qualitätsabzüge übernommen werden kann oder ob keine Übernahme möglich ist (siehe [94]). Im Rahmen der Abnahmeprüfung werden für eine Deckschichtrezeptur einerseits festgelegte Anforderungen an das Asphaltmischgut sowie andererseits Anforderungen an die eingebaute Asphaltdeckschicht nachgewiesen.

Die Abnahmeprüfung der eingesetzten Ausgangsstoffe (Gesteinskörnungen, Bitumen, Zusatzstoffe) erfolgt an am Mischwerk entnommenen Proben. Die RVS 08.97.05 [92] legt die zu bestimmenden Merkmale sowie die zulässigen Abweichungen von den in der Erstprüfung deklarierten Bandbreiten für die Abnahmeprüfung fest. Das betrifft folgende Parameter:

- Anforderungen an die Ausgangsstoffe (Bindemittel, Gesteinskörnung), siehe Tabelle 3 der RVS 08.97.05 [92]
- Anforderungen an die Zusammensetzung von Asphaltmischgut (Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung, Bruchflächigkeit, Kornform, Dichte der Gesteinskörnung), siehe Tabelle 4 der RVS 08.97.05 [92]
- Anforderungen an die Asphaltmischgutkennwerte (Kennwerte am Mischgut/Probekörper, sonstige Parameter), siehe Tabelle 5 der RVS 08.97.05 [92]

Da all diese Anforderungen - bis auf einige wenige Ausnahmen - unabhängig vom Fahrbahndeckschichttyp sind, wird in den folgenden Abschnitten für die Anforderungen an das Asphaltmischgut bei der Abnahmeprüfung lediglich auf die entsprechende RVS verwiesen.

In der RVS 08.16.01 [85] sind die Anforderungen an die jeweiligen Asphaltdecken und an die Fahrbahnoberfläche je Prüflos nach Fertigstellung der Schicht (und vor Ablauf der Gewährleistungsfrist) festgelegt. Dabei handelt es sich um den Nachweis der folgenden Anforderungen:

- Anforderungen an die Schichtdicke
- Anforderungen an den Hohlraumgehalt
- Anforderungen an den Verdichtungsgrad
- Anforderungen an den Schichtverbund (Schubfestigkeit und Haftzugfestigkeit)
- Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften (Ebenheit, Oberflächentextur, Drainverhalten, Rollgeräusch, Griffigkeit)

### *Nachweise vor Ablauf der Gewährleistungsfrist*

Gemäß RVS 10.01.11 [95] beträgt die Gewährleistungsfrist 3 Jahre, allerdings können davon abweichend Sonderregelungen in der Ausschreibung festgelegt werden. Während der Gewährleistungsfrist sind nach RVS 08.16.01 [85] für die Oberflächeneigenschaften Spurrinntiefe, Risse und Griffigkeit folgende Anforderungen einzuhalten:

- Spurrinntiefe:  $\leq 5 \text{ mm}$  (Prüfung gem. RVS 11.06.67 [96], für Bundesstraßen A+S)
- Risse: keine Risse erlaubt
- Griffigkeit:  $\mu \geq 0,55$  (Prüfung gem. RVS 11.06.65 [97] bei 60 km/h)

Können diese Anforderungen nicht eingehalten werden, so ist der aufgetretene Schaden vom Auftragnehmer im Einvernehmen mit dem Auftraggeber zu sanieren (siehe RVS 11.03.21 [93]).

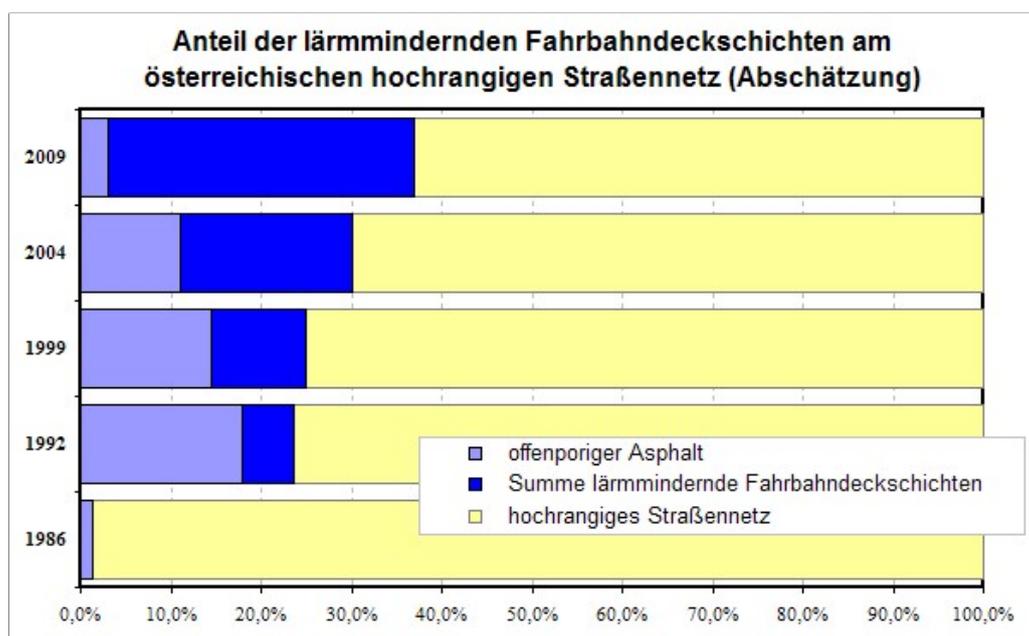
### 5.2.2.2 Betonbauweisen

Durch die RVS 08.17.02 [98] wurde im Juni 2007 die nationale Umsetzung der harmonisierten europäischen Normen der Serie ÖNORM EN 13877ff durchgeführt. Die für Österreich relevanten Festlegungen an das Mischgut sowie an die Fahrbahnbefestigungen aus Beton sind somit in dieser RVS festgelegt:

- Erstprüfung: Anforderungen an das Mischgut (nach [99])
- Abnahmeprüfung: funktionale Anforderungen an die Betondecke (nach [100])

### 5.2.3 Lärmindernde Fahrbahndeckschichttypen in Österreich

In Österreich wurde die erste lärmindernde Fahrbahndeckschicht bereits im Jahr 1984 auf der A12 - Inntal Autobahn verlegt. Es handelte sich dabei um einen Drainasphalt (offenporigen Asphalt) mit Größtkorn 11 mm. In den darauf folgenden Jahren kam es zu einem regelrechten Boom der offenporigen Asphaltbauweise im hochrangigen Straßennetz (siehe Abbildung 5.2). Auf großen Abschnitten der österreichischen Transitautobahnen (A12 - Inntal Autobahn, A13 - Brenner Autobahn, A9 - Pyhrnautobahn und A10 - Tauern Autobahn) wurden Fahrbahndeckschichten in offenporiger Asphaltbauweise gelegt. Im Jahr 1992 betrug der Anteil der offenporigen Fahrbahndeckschichten im hochrangigen Straßennetz bereits ca. 18%. Aber auch andere lärmindernde Fahrbahndeckschichttypen, wie zum Beispiel lärmindernde Dünnschichtdecken oder Waschbetondecken und Oberflächenbehandlungen auf Beton wurden zur Lärminderung eingesetzt (siehe auch [75]).



**Abbildung 5.2:** Abschätzung des Anteils der lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen am österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz (nach [81] und [101])

In den folgenden Jahren kam es zu einem stetig ansteigenden Einsatz von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten, allerdings lässt sich beim offenporigen Asphalt ein eindeutiger Rückgang erkennen. Dieser Rückgang ist vor allem auf Vorbehalte der Straßenerhalter wegen modifizierter Anforderungen an den Winterdienst sowie auch auf die Möglichkeit von plötzlich auftretenden Versagenserscheinungen mit starken Kornverlusten zurückzuführen (Details siehe [101] bzw. Abschnitt 5.5.1 dieser Arbeit).

Durch Inkrafttreten der EU-Umgebungslärmrichtlinie [8] im Jahr 2002, in der jedem EU-Mitgliedsland einerseits eine Ermittlung der Belastung der Bevölkerung durch Umgebungslärm und andererseits das Erstellen von Aktionsplänen zur Vermeidung und Verminderung von Verkehrslärm (Straßen,- Bahn- und Flugverkehr) vorgeschrieben wird, und deren Umsetzung in österreichisches Recht in den darauffolgenden Jahren wurde der Einsatz lärm mindernder Fahrbahndeckschichten weiter forciert. Bis zum Jahr 2009 stieg deren Anteil am österreichischen hochrangigen Straßennetz auf über 35%, wobei heutzutage als lärm mindernde Fahrbahndeckschicht größtenteils lärm mindernder Splittmastixasphalt und Waschbeton eingesetzt wird.

Generell können lärm mindernde Fahrbahndeckschichten in jene in

- Asphaltbauweise,
- Betonbauweise und
- Sonderbauweisen

unterteilt werden. In Abbildung 5.3 sind die Fahrbahndeckschichttypen der Asphalt- und Betonbauweise schematisch dargestellt.

Asphaltbauweisen	Betonbauweisen
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ offenporiger Asphalt (ehem. Drainasphalt)</li> <li>▪ 2-lagiger offenporiger Asphalt</li> <li>▪ lärm mindernder Splittmastixasphalt</li> <li>▪ lärm mindernde Dünnschichtdecke</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oberflächenbearbeitung zur Texturerhöhung               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Besenstrich längs</li> <li>• Kamm längs</li> <li>• Jutetuch</li> </ul> </li> <li>▪ Oberflächenbehandlung auf Epoxidharzbasis               <ul style="list-style-type: none"> <li>• GRIPROAD</li> <li>• EP-GRIP</li> <li>• .....</li> </ul> </li> <li>▪ Waschbeton</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>

**Abbildung 5.3:** Übersicht der gängigen lärm mindernden Fahrbahndeckschichttypen

Unter den Sonderbauweisen werden solche Fahrbahndeckschichttypen verstanden, die (noch) in keinem Regelwerk beschrieben sind bzw. die sich noch in der Entwicklung und Erforschung befinden. Darunter fallen vor allem poroelastische Fahrbahndeckschichten, diverse lärm mindernde Dünnschichtdecken sowie auch der Drainbeton.

In den europäischen Ländern sowie auch in Österreich ist der offenporige Asphalt, obwohl dieser Fahrbahndeckschichttyp heutzutage (zumindest in Österreich) kaum mehr zum

Einsatz kommt, sicher der am meisten untersuchte lärmindernde Fahrbahndeckschichttyp, einerseits weil dieser Fahrbahndeckschichttyp von allen lärmindernden Fahrbahndeckschichten das höchste Lärminderungspotenzial aufweist und andererseits weil bei dessen Anwendung auch häufig Probleme auftreten (vor allem im Bereich des Winterdienstes). Der offenporige Asphalt stellt auch die am kontroversiellsten beurteilte lärmindernde Fahrbahndeckschicht dar. Aus diesen Gründen wird auf den Fahrbahndeckschichttyp offener Asphalt in dieser Arbeit auch intensiv eingegangen (siehe Abschnitt 5.5.1).

## 5.3 Beschreibung der Referenzfahrbahndeckschicht

### 5.3.1 Splittmastixasphalt - Bauweise

Ein Splittmastixasphalt ist gem. [87] als Asphalt mit einer diskontinuierlichen Korngrößenverteilung des gebrochenen, mit Mörtel umhüllten Gesteinsmaterials definiert. Die Mischgutzusammensetzung eines Splittmastixasphaltes besteht vorwiegend aus einem grobkörnigen Splittgerüst mit einem weitgehend verringerten Feinsplitt- und Sandanteil, dessen Hohlräume größtenteils durch Bitumenmörtel ausgefüllt werden. Durch den hohen Anteil des grobkörnigen Gesteinsmaterials entstehen somit auch relativ hohe Bindemittelgehalte. Abbildung 5.4 zeigt den Vergleich des Kornaufbaues der dichten Fahrbahndeckschicht Asphaltbeton mit dem des Splittmastixasphaltes.

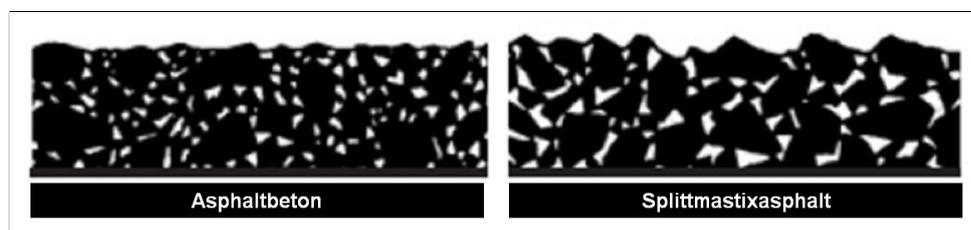


Abbildung 5.4: Vergleich des Aufbaues von Asphaltbeton und Splittmastixasphalt (nach [102])

Die hohen Bindemittelgehalte erfordern den Einsatz von Zusätzen, die als Bindemittelträger wirken und das Mischgut bei Herstellung, Transport und Einbau stabilisieren. Werden Bindemittel mit sehr hoher Viskosität eingesetzt, so kann allerdings auch auf die Verwendung von Bindemittelträgern verzichtet werden [103].

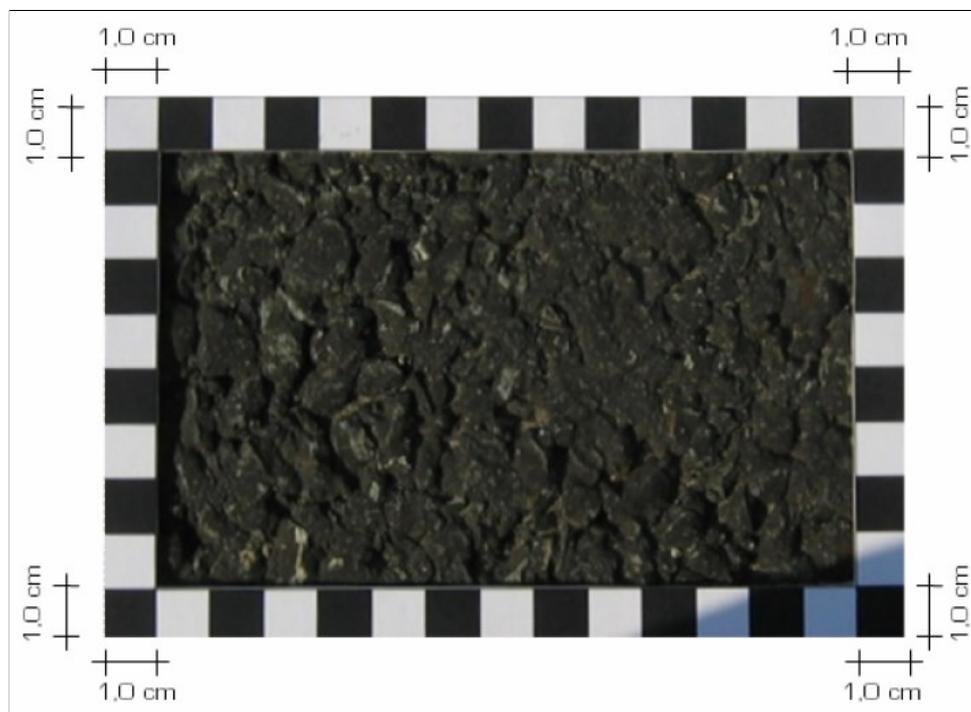
Die Hauptmerkmale der Mischgutzusammensetzung von Splittmastixasphalten lassen sich nach [102] folgendermaßen zusammenfassen:

- hoher Splittgehalt
- hoher Anteil der größten Kornklasse
- hoher Bindemittelgehalt
- Einsatz stabilisierender Zusätze

Durch den speziellen Aufbau ist der Splittmastixasphalt ein dichter Fahrbahndeckschichttyp, der durch eine hohe Standfestigkeit und eine hohe strukturelle Lebensdauer ausgezeichnet ist, und somit vor allem im hochrangigen Straßennetz bei hohen bis sehr hohen Verkehrsbelastungen Einsatz findet. Nach [102] weist der Splittmastixasphalt durch den hohen Splittgehalt in Verbindung mit dem mastixähnlichen Mörtel folgende Eigenschaften auf:

- hohe Verformungsbeständigkeit
- hohe Verschleißfestigkeit
- Rissicherheit bei Kälte und mechanischer Beanspruchung
- gutes Langzeitverhalten

Die Oberflächentextur ist grobkörnig und ähnlich der von offenporigen Asphaltdeckschichten. Infolge des hohen Bindemittelgehalts ist allerdings die Anfangsgriffigkeit niedriger als bei anderen Fahrbahndeckschichttypen. Eine Verbesserung der Griffigkeit lässt sich durch Abstumpfen der Oberfläche mit Abstreusplitt 1/3 bzw. 0,25/2 (1 - 2 kg/m<sup>2</sup>) nach dem ersten Walzdurchgang und anschließendem Einwalzen während des Verdichtungsvorgangs erreichen [102]. Abbildung 5.5 zeigt ein typisches Oberflächenbild einer Fahrbahndeckschicht aus Splittmastixasphalt (mit Größtkorn 11 mm).



**Abbildung 5.5:** Oberfläche eines Splittmastixasphaltes mit Größtkorn 11 mm

### 5.3.2 Splittmastixasphalt - Anforderungen bei der Erstprüfung

Der Nachweis der Eignung einer Fahrbahndeckschicht wird vom Auftragnehmer in Form einer CE-Kennzeichnung des Produktes in Verbindung mit dem korrespondierenden Erstprüfungsbericht erbracht. Für den Splittmastixasphalt (SMA) sind die Anforderungen an das Asphaltmischgut bei der Erstprüfung in der österreichischen Norm ÖNORM B 3584-1 (empirischer Ansatz) [104] bzw. in der ÖNORM B 3584-2 (gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen) [90] geregelt. Gemäß den Richtlinien RVS 08.97.05 [92] und RVS 08.16.01 [85] ist das Asphaltmischgut für Splittmastixasphalt nach ÖNORM B 3584-1 herzustellen. In dieser ÖNORM werden verschiedene Mischguttypen bezogen auf die Mischgutzusammensetzung und auf die Anforderungen an die Gesteinskörnungen definiert.

Demnach werden für den Splittmastixasphalt die drei Mischguttypen S1, S2 und S3 mit

einem Größtkorn von jeweils 8 mm und 11 mm unterschieden, die sich einerseits in ihren Grenzsieblinien und andererseits in den jeweiligen Anforderungen an den Hohlraumgehalt unterscheiden. Der Typ S1 entspricht einem sehr dichten Fahrbahndeckschichttyp. Nach [85] ist beim Typ SMA, S1 eine Abspaltung vorgesehen. Dabei wird auf die noch heiße Oberfläche eine bitumenumhüllte Gesteinskörnung der Größe 2/4, in der Regel maschinell, aufgebracht und mit Glattwalzen eingedrückt. Die Menge des Abstreusplittes hat zwischen 1 und 3 kg/m<sup>2</sup> zu betragen und ist frühestens nach dem ersten Walzübergang aufzubringen. Der Typ S2 besitzt leicht modifizierte Grenzsieblinien, die eine erhöhte Makrorauhigkeit bieten sollen. Dieser Typ besitzt einen leicht höheren Hohlraumgehalt und wird nicht abgesplittet. Der Typ S3 entspricht einem lärmindernden Splittmastixasphalt, der in Abschnitt 5.5.2 dieser Arbeit noch detailliert beschrieben wird.

Die Anforderungen an die Sieblinien des Splittmastixasphaltes der beiden Mischguttypen S1 und S2 für die Erstprüfung sind in Tabelle 5.3 aufgelistet.

**Tabelle 5.3:** Anforderungen an die Sieblinien des Splittmastixasphaltes bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [104])

SIEBGRÖSSE [MM]	MISCHGUTTYP			
	SMA 8, S1	SMA 8, S2	SMA 11, S1	SMA 11, S2
16,0			100	100
11,2	100	100	90 bis 100	90 bis 100
8,0	90 bis 100	90 bis 100	48 bis 73	45 bis 68
5,6	–	–	–	–
4,0	25 bis 50	25 bis 43	25 bis 46	25 bis 43
2,0	20 bis 33	20 bis 33	20 bis 33	20 bis 33
1,0	anzugeben	anzugeben	anzugeben	anzugeben
0,5	10 bis 25	10 bis 25	10 bis 25	10 bis 25
0,25	anzugeben	anzugeben	anzugeben	anzugeben
0,063	5 bis 11	5 bis 10	5 bis 11	5 bis 10
Die anzugebende max. Bandbreite beträgt 12,0 M.-% (bis auf die Siebgröße 0,063 mm mit 4,0 M.-%).				

Beispielhaft sind in Abbildung 5.6 und in Abbildung 5.7 die Grenzsieblinien jeweils für den SMA 11 bzw. SMA 8 für die beiden Mischguttypen S1 (in roter Farbe) und S2 (in blauer Farbe) dargestellt.

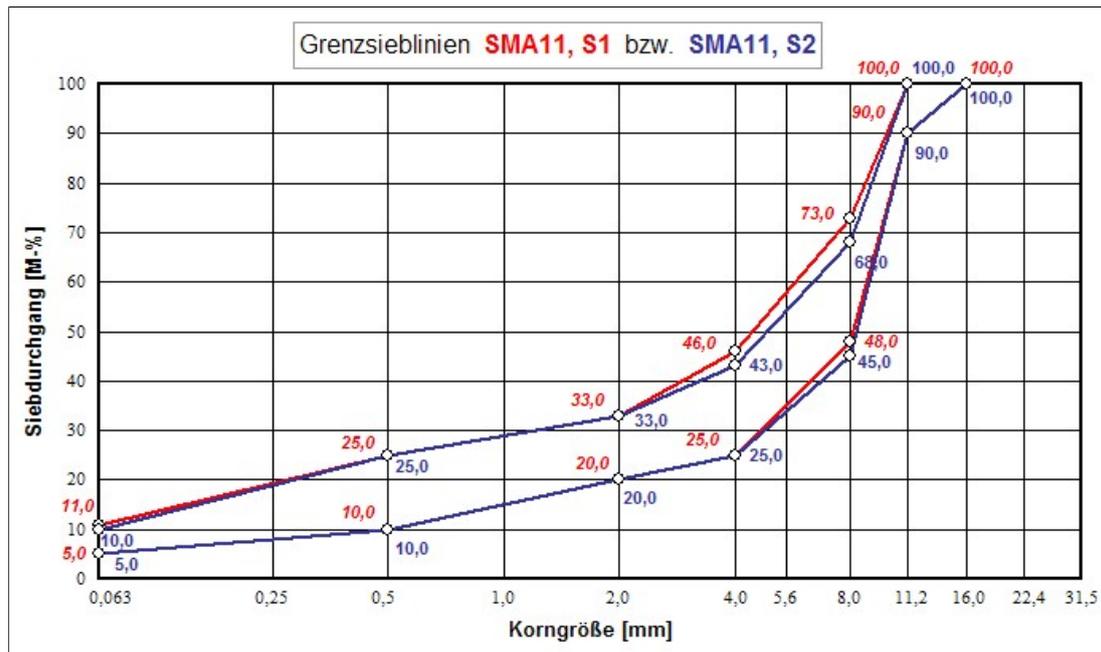


Abbildung 5.6: Grenzsieblinien für den Splittmastixasphalt SMA 11 (nach ÖNORM B 3584-1 [104])

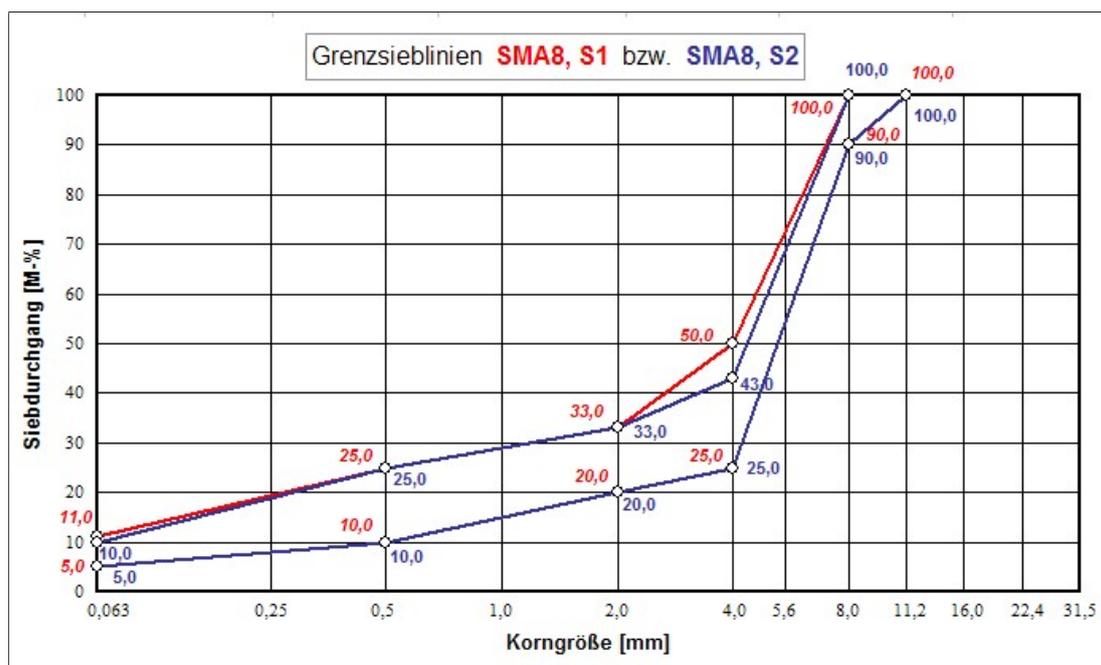


Abbildung 5.7: Grenzsieblinien für den Splittmastixasphalt SMA 8 (nach ÖNORM B 3584-1 [104])

Die Anforderungen an die Gesteinskörnungen sind in den Tabellen 2 und 3 der ÖNORM B 3584-1 (siehe [104]) aufgelistet. Für den Splittmastixasphalt werden die Gesteinsklassen G1, G2 und G3 empfohlen. Somit wird für den Widerstand gegen Zertrümmerung ein LA-Wert gem. ÖNORM EN 1097-2 [105] von maximal 20 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein LA-Wert von maximal 25 für die Gesteinskategorien G2 und G3 gefordert, für den Widerstand gegen Polieren ein PSV-Wert gem. ÖNORM EN 1097-8 [106] von minimal 50 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein PSV-Wert von minimal 44 für die Gesteinskategorie G2 (für die Gesteinskategorie G3 ist der PSV-Wert anzugeben).

Als Bindemittel sind einerseits die Straßenbaubitumen 50/70 und 70/100 gem. ÖNORM EN 12591 [107] und andererseits die modifizierten Bitumen PmB 25/55-65, PmB 25/55-55,

PmB 45/80-65 und PmB 45/80-50 gem. ÖNORM B 3613 [108] zugelassen. Bei Verwendung von Straßenbaubitumen wird die Verwendung von Zusätzen empfohlen.

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut von Splittmastixasphalt sind auszugsweise in Tabelle 5.4 zusammengefasst.

**Tabelle 5.4:** Anforderungen an das Asphaltmischgut von Splittmastixasphalt bei der Erstprüfung (Details siehe [104])

EIGENSCHAFT	MISCHGUTTYP			
	SMA 8, S1	SMA 8, S2	SMA 11, S1	SMA 11, S2
Bindemittelgehalt [M.-%]	≥ 6,2	≥ 5,8	≥ 6,0	≥ 5,6
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	1,5 bis 4,0	3,0 bis 6,0	1,5 bis 4,0	3,0 bis 6,0
prop. Spurrinnentiefe	≤ 5,0 %			
Bindemittelablauf	≤ 0,6 %			

Die Nachweise sind jeweils gem. ÖNORMEN 13108-20 [84] zu erbringen. Die anzugebende max. Bandbreite beträgt für den Bindemittelgehalt 0,6 M.-% und für den Hohlraumgehalt 2,0 Vol.-%.

Die Kennzeichnung des Splittmastixasphaltes erfolgt nach dem folgenden Schema: Größtkorn "D" Bindemittelsorte, Mischguttyp, Gesteinsklasse, eventuelle Zusatzbezeichnungen (verwendete Zusätze, Identifikationsnummern)

Beispielhaft könnte somit ein Splittmastixasphalt folgendermaßen gekennzeichnet sein:

SMA 11 PmB 45/80-65, S2, G1

### 5.3.3 Splittmastixasphalt - Anforderungen bei der Abnahmeprüfung

#### 5.3.3.1 Splittmastixasphalt - Anforderungen an das Asphaltmischgut

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut für Splittmastixasphalt sind in der RVS 08.97.05 [92] geregelt. Die Details der Anforderungen an die Parameter und deren Bandbreiten sind in den Tabellen 3, 4 und 5 der RVS 08.97.05 aufgelistet.

#### 5.3.3.2 Splittmastixasphalt - Anforderungen an die fertige Schicht

Die Anforderungen an die Asphalttschicht und an die Fahrbahnoberfläche für Splittmastixasphalt sind in der RVS 08.16.01 [85] geregelt.

Der Zusammenhang zwischen der Schichtdicke der Fahrbahndeckschicht Splittmastixasphalt und dem Größtkorn in der Mischgutzusammensetzung ist in Tabelle 5.5 angegeben.

**Tabelle 5.5:** Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn beim Splittmastixasphalt [85]

	GRÖSSTKORN [MM]	
	8	11
SCHICHTDICKE [CM]	2,5 bis 3,5	3,0 bis 4,0

Die Anforderungen an die Asphalttschicht von Splittmastixasphalt sind in Tabelle 5.6 zusammengefasst. Die Berechnung des Verdichtungsgrades erfolgt durch Division der Raumdichte der Schicht durch die Raumdichte des Marshall-Prüfkörpers der Abnahmeprüfung. Bei einem einvernehmlich festgelegten händischen Einbau können die Grenzwerte für den Verdichtungsgrad um 5% herabgesetzt werden.

Der Schichtverbund ist bei Solldicken  $\geq 3$  cm mittels Schubfestigkeit und bei Solldicken  $< 3$  cm mittels Haftzugfestigkeit zu prüfen.

**Tabelle 5.6:** Anforderungen an die Asphalttschicht von Splittmastixasphalt bei der Abnahmeprüfung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Schichtdicke <sup>(1)</sup> [mm]	ÖNORMEN 12697-36 [109]	$\geq SD -15\%$	$< SD -15\%$ bis $-40\%$	$< SD -40\%$
Verdichtungsgrad [%]	ÖNORMEN 12697-8 [110]	$\geq 98$	97 bis 94	$< 94$
Schubfestigkeit <sup>(2)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-1 [111]	$\geq 0,8$	0,7 bis 0,3	$< 0,3$
Schubfestigkeit <sup>(3)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-1 [111]	$\geq 1,2$	1,1 bis 0,6	$< 0,6$
Haftzugfestigkeit <sup>(2)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-2 [112]	$\geq 1,0$	0,9 bis 0,4	$< 0,4$
Haftzugfestigkeit <sup>(3)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-2 [112]	$\geq 1,5$	1,4 bis 0,8	$< 0,8$

(1) Die Solldicke SD ist in der Ausschreibung festgelegt.

(2) bei Verwendung von Straßenbaubitumen

(3) bei Verwendung von polymermodifiziertem Bitumen

Die Anforderungen an den Hohlraumgehalt von Splittmastixasphalt sind in Abhängigkeit des verwendeten Mischguttyps für die Größtkorndurchmesser  $D = 8$  mm und  $D = 11$  mm in Tabelle 5.7 dargestellt. Die Bestimmung des Hohlraumgehaltes erfolgt dabei gem. ÖNORMEN 12697-8 [110].

**Tabelle 5.7:** Anforderungen an den Hohlraumgehalt von Splittmastixasphalt (nach [85])

MISCHGUTTYP	HOHLRAUMGEHALT [VOL.-%]		
	Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
SMA D, S1	1,5 bis 5,0	5,1 bis 9,0	$> 9,0$
SMA D, S2	3,0 bis 7,0	7,1 bis 11,0	$> 11,0$

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Splittmastixasphalt nach Fertigstellung sind in Tabelle 5.28 zusammengefasst.

**Tabelle 5.8:** Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Splittmastixasphalt nach Fertigstellung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Ebenheit [mm/4 m]	RVS 11.06.62 [113]	$\leq 4$	5 bis 12	$> 12$
Textur (Rautiefe) [mm]	ÖNORMEN 13036-1 [80]	$\geq 0,4$	–	$< 0,4$
Griffigkeit <sup>(1)</sup> [ $\mu$ ]	RVS 11.06.65 [97]	$\mu \geq 0,62^{(2)}$	$0,59 > \mu \geq 0,52$	$\mu < 0,52$
<sup>(1)</sup> bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h				
<sup>(2)</sup> Sollwert - Messtoleranz (=0,03) = Grenzwert für die Berechnung des Qualitätsabzuges				

Bei Bauloslängen unter 500 m kann der Auftraggeber auf die Messungen gem. RVS 11.06.65 mit dem System RoadSTAR verzichten und eine kombinierte Messung mit dem SRT- Pendel und dem Ausflusszylinder durchführen.

### 5.3.4 Splittmastixasphalt - Gewährleistung

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften (Spurrinntiefe, Risse und Griffigkeit) vor dem Ablauf der Gewährleistungsfrist für Splittmastixasphalt sind in Tabelle 14 der RVS 08.16.01 [85] geregelt (siehe auch Abschnitt 5.2.2.1 dieser Arbeit - Nachweise vor Ablauf der Gewährleistungsfrist).

### 5.3.5 Splittmastixasphalt - Betrachtung der Lärmemissionen

#### 5.3.5.1 Allgemeines

Für die Betrachtung der Lärmemissionen der Referenzfahrbahndeckschicht für das Bewertungssystem lärmindernder Fahrbahndeckschichten wird ein Splittmastixasphalt mit Größtkorn 11 mm des Mischguttyps S2 (SMA 11, S2) herangezogen. Grundlage für die durchgeführten Analysen stellen die in der Datenbank österreichischer Lärmmessungen [29] gesammelten Lärmessdaten, sowohl Ergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen als auch Ergebnisse aus Rollgeräuschmessungen, dar.

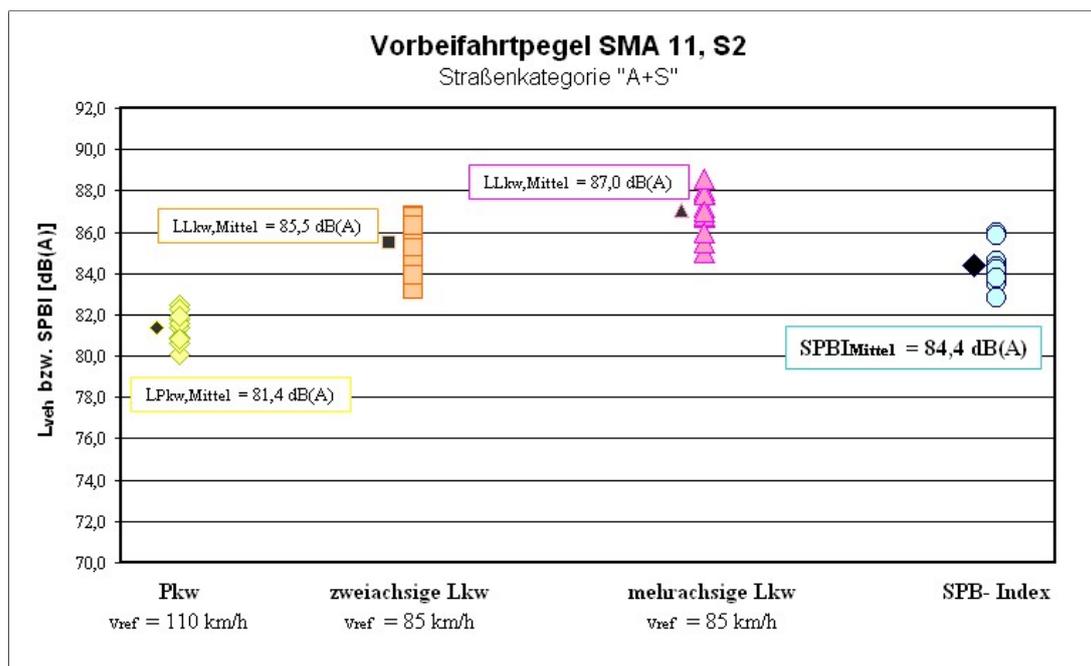
#### 5.3.5.2 Lärmemissionen aus Vorbeifahrtmessungen

Messergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen an Straßen der Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ werden zur Analyse des Neuzustandes des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S2 herangezogen. Als Grundlage zur akustischen Beurteilung dienen sowohl die Vorbeifahrtpegel der einzelnen Fahrzeugkategorien als auch der SPB- Index gem. ISO 11819-1 [74] der drei Straßenkategorien.

Der Analyse der Vorbeifahrtmessungen werden somit für die Straßenkategorie “A+S“ als Referenzgeschwindigkeiten 110 km/h für die Fahrzeugkategorie “Pkw“ und 85 km/h

für die beiden Fahrzeugkategorien “zweiachsige Lkw“ und “mehrachsiges Lkw“, für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ als Referenzgeschwindigkeit 80 km/h für die Fahrzeugkategorie “Pkw“ und 70 km/h für die beiden Fahrzeugkategorien “zweiachsige Lkw“ und “mehrachsiges Lkw“ und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ als Referenzgeschwindigkeit 50 km/h für alle drei Fahrzeugkategorien zugrunde gelegt (siehe auch Abschnitt 4.3 dieser Arbeit).

Abbildung 5.8 zeigt Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen der drei untersuchten Fahrzeugkategorien an Autobahnen und Schnellstraßen inklusive der Ergebnisse der Analysen der zugehörigen SPB-Indices.



**Abbildung 5.8:** Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand (Daten aus [29])

Auffallend sind die Streuungen in den Messergebnissen, vor allem bei den analysierten Lkw-Vorbeifahrten mit absoluten Abweichungen in den Vorbeifahrtpegeln um bis zu 4 dB(A). Diese Streuungen können unter anderem aus unterschiedlichen Lkw-Typen (Baujahr, Bereifung, Motorisierung) und aus verschiedenen hohen Beladungen der Lkw's resultieren. Allerdings relativieren sich diese Streuungen bei der Analyse der Vorbeifahrtindices SPBI. Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S2 ergeben für die Straßenkategorie “A+S“ einen mittleren Vorbeifahrtindex von 84,4 dB(A). Dieser Wert stellt als Referenzwert die Grundlage zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten für die Straßenkategorie “A+S“ dar.

In Abbildung 5.9 sind Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen an sonstigen Freilandstraßen, in Abbildung 5.10 Messergebnisse an Stadtstraßen sowie die jeweils daraus resultierenden Vorbeifahrtindices dargestellt. Als mittlerer Vorbeifahrtindex ergibt sich somit für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ ein Wert von 81,3 dB(A), für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ ein Wert von 73,2 dB(A).

Diese Werte gehen ebenfalls als Referenzwerte für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ bzw. für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ in die akustische Bewertung von

lärmmindernden Fahrbahndeckschichten ein.

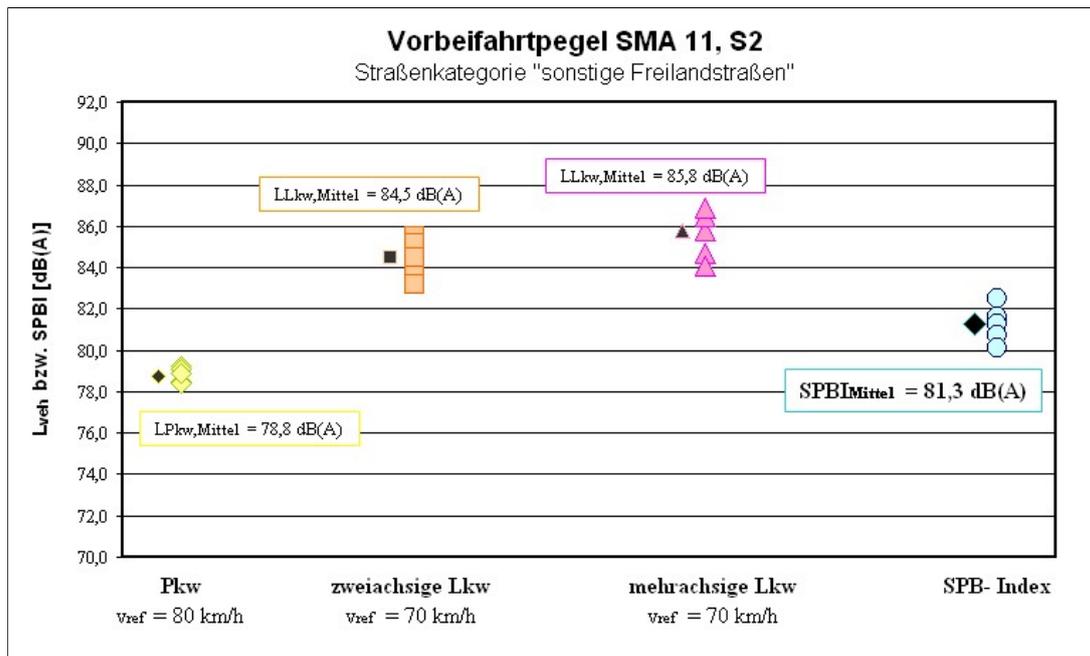


Abbildung 5.9: Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 an sonstigen Freilandstraßen im Neuzustand (Daten aus [29])

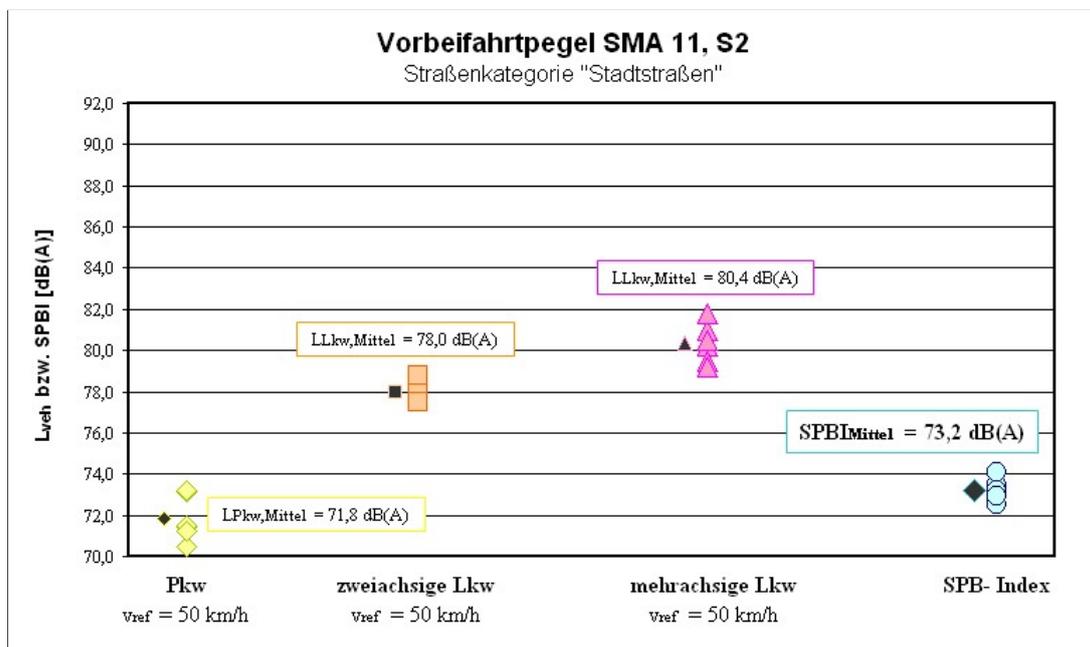


Abbildung 5.10: Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 an Stadtstraßen im Neuzustand (Daten aus [29])

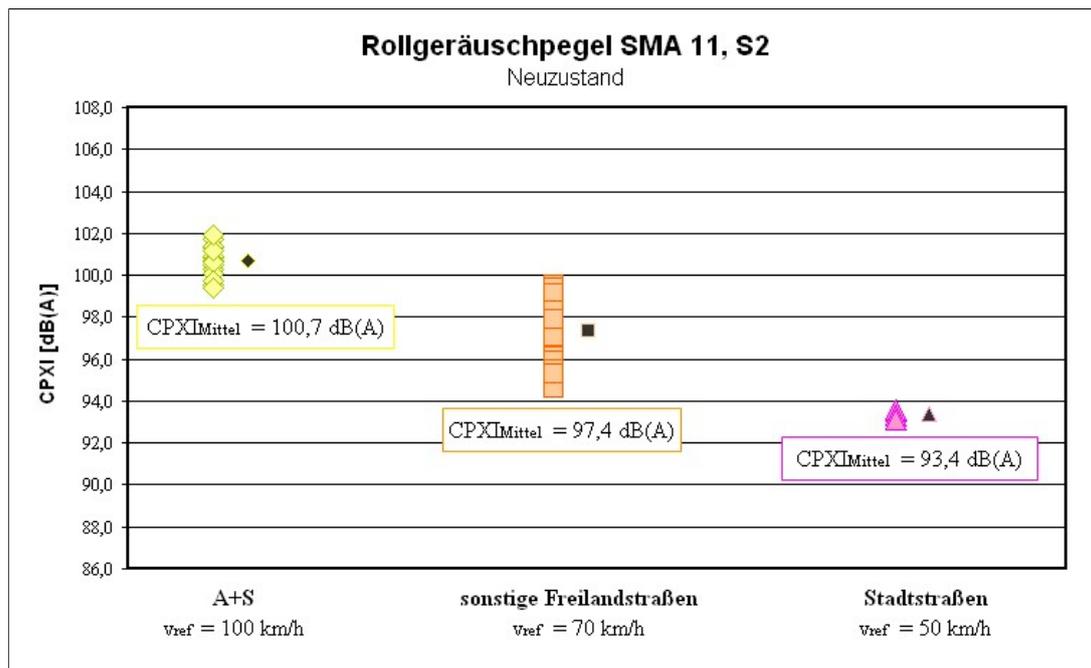
### 5.3.5.3 Lärmemissionen aus Rollgeräuschmessungen

Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen an Straßen der Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" werden einerseits zur Analyse des Neuzustandes und andererseits zur Analyse des akustischen Alterungsverhaltens des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S2 herangezogen. Als Grundlage zur akustischen Beurteilung

dient der CPX- Index gem. ISO/CD 11819-2 [28] der drei Straßenkategorien sowohl für den Neuzustand der Fahrbahndeckschicht als auch nach einer Liegedauer von 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschichten.

Der Analyse der Rollgeräuschmessungen werden für die Straßenkategorie “A+S“ als Referenzgeschwindigkeit 100 km/h, für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ 70 km/h und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ 50 km/h zugrunde gelegt.

Abbildung 5.11 zeigt Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs SMA 11, S2 im Neuzustand an den drei untersuchten Straßenkategorien.



**Abbildung 5.11:** CPX-Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 im Neuzustand (Daten aus [29])

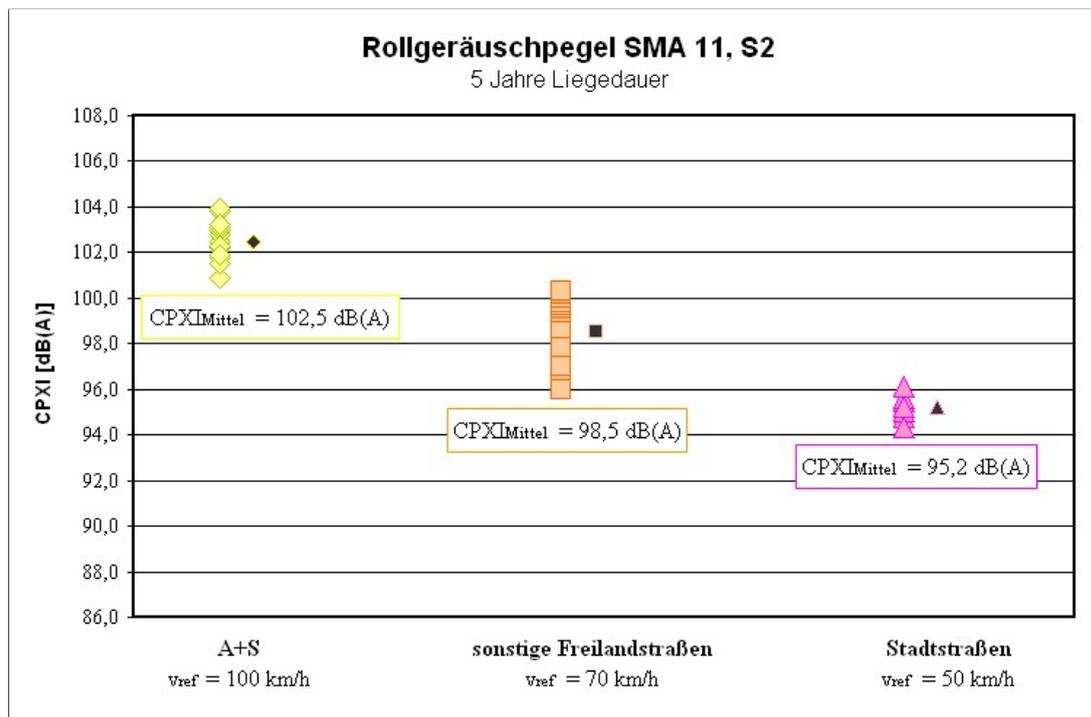
Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S2 ergeben für die Straßenkategorie “A+S“ einen mittleren CPX-Index von 100,7 dB(A), für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ einen mittleren CPX-Index von 97,4 dB(A) und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ einen mittleren CPX-Index von 93,4 dB(A).

Diese Werte stellen als Referenzwerte (neben den zuvor bestimmten SPB-Indices) die Grundlage zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten für den Neuzustand dar.

In Abbildung 5.12 sind Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs SMA 11, S2 nach 5 Jahren Liegedauer an den drei untersuchten Straßenkategorien dargestellt. Als mittlerer CPX-Index ergibt sich für die Straßenkategorie “A+S“ ein Wert von 102,5 dB(A), für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ 98,5 dB(A) und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ 95,2 dB(A). Im Vergleich zum Ausgangszustand zeigt sich bei allen drei Straßenkategorien ein Anstieg des CPX-Indexes um ca. 2 dB(A).

Die analysierten Daten stellen als Referenzwerte die Grundlage zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten für eine Liegedauer der Fahrbahndeckschicht

von 5 Jahren dar.

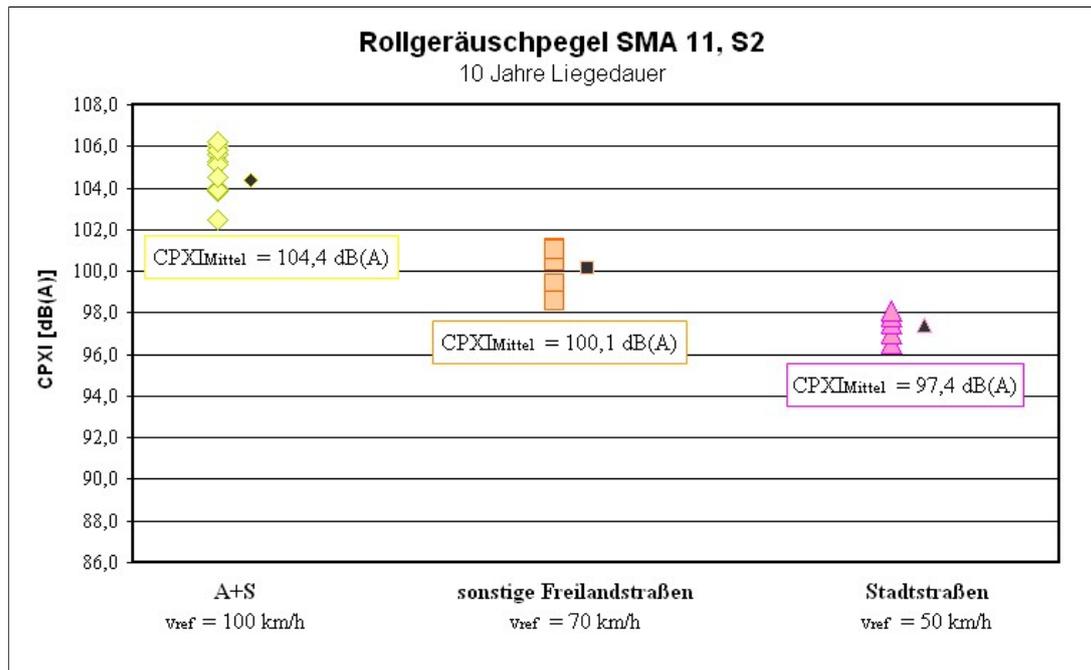


**Abbildung 5.12:** CPX-Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 nach 5 Jahren Liegedauer (Daten aus [29])

Schließlich sind in Abbildung 5.10 die Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs SMA 11, S2 nach 10 Jahren Liegedauer an den drei untersuchten Straßenkategorien dargestellt.

Als mittlerer CPX-Index ergibt sich danach für die Straßenkategorie “A+S“ ein Wert von 104,4 dB(A), für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ ein Wert von 100,1 dB(A) und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ ein Wert von 97,4 dB(A). Es zeigt sich somit im Vergleich zum Ausgangszustand ein Anstieg des CPX-Indexes um ca. 4 dB(A) bei allen drei Straßenkategorien. Dies bedeutet einen weiteren Anstieg des CPX-Indexes um ca. 2 dB(A) im Vergleich zur Liegedauer von 5 Jahren (siehe Abbildung 5.11). Die Fahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt somit über den untersuchten Zeitabschnitt von 10 Jahren eine ungefähr gleichbleibende Änderung des Emissionspegels von ca. 0,4 dB(A) pro Jahr.

Die analysierten Daten stellen als Referenzwerte die Grundlage zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten für eine Liegedauer der Fahrbahndeckschicht von 10 Jahren dar. Allerdings sind die Analysen der Straßenkategorien “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ aufgrund der geringen Datengrundlage mit etwas Vorsicht zu genießen.



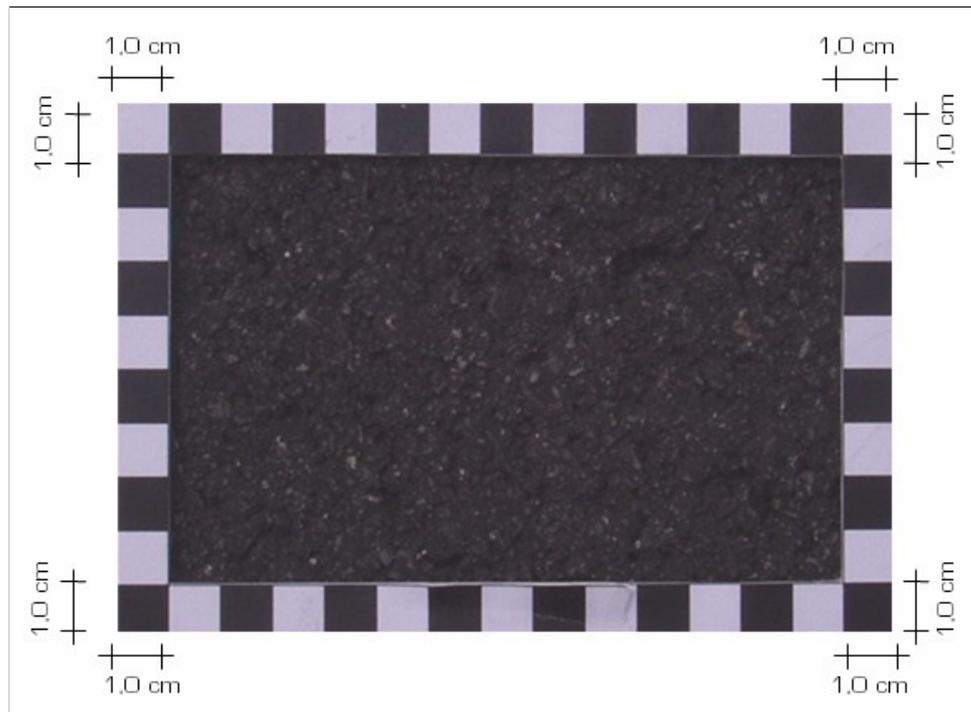
**Abbildung 5.13:** CPX-Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 nach 10 Jahren Liegedauer (Daten aus [29])

## 5.4 Beschreibung der Fahrbahndeckschicht Asphaltbeton

### 5.4.1 Asphaltbeton - Bauweise

Ein Asphaltbeton ist gem. [87] als Asphalt mit einer kontinuierlichen Korngrößenverteilung definiert. Asphaltbetone weisen eine stetige Korngrößenverteilung mit einem hohen Feinkornanteil auf. Dadurch ergibt sich eine dichte Struktur und ein geringer Hohlraumgehalt. Um beim Asphalteinbau die dichte Struktur zu erreichen, ist speziell auf eine ausreichende Verdichtung zu achten.

Abbildung 5.5 zeigt ein typisches Oberflächenbild einer Fahrbahndeckschicht aus Asphaltbeton (mit Größtkorn 11 mm).



**Abbildung 5.14:** Oberfläche eines Asphaltbetones mit Größtkorn 11 mm

#### 5.4.2 Asphaltbeton - Anforderungen bei der Erstprüfung

Der Nachweis der Eignung einer Fahrbahndeckschicht wird vom Auftragnehmer in Form einer CE-Kennzeichnung des Produktes in Verbindung mit dem korrespondierenden Erstprüfungsbericht erbracht.

Für den Asphaltbeton (AC deck) sind die Anforderungen an das Asphaltmischgut bei der Erstprüfung in der österreichischen Norm ÖNORM B 3580-1 (empirischer Ansatz) [57] bzw. in der ÖNORM B 3580-2 (gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen) [89] geregelt. Gemäß den Richtlinien RVS 08.97.05 [92] und RVS 08.16.01 [85] ist das Asphaltmischgut für Asphaltbeton nach ÖNORM B 3580-1 herzustellen. In dieser ÖNORM finden sich Anforderungen an

- Deckschichten (AC deck),
- Tragdeckschichten (AC deck),
- hochstandfeste Tragschichten (AC binder) und
- Tragschichten (AC trag).

In dieser Arbeit wird auf die Anforderungen an die Deckschichten (AC deck) näher eingegangen.

In der ÖNORM B 3580-1 [57] werden für AC deck vier Mischguttypen A1, A2, A3 und A4 mit den Größtkorndurchmessern nach Tabelle 5.9 unterschieden, die einerseits in ihren Grenzsieblinien variieren und andererseits in den jeweiligen Anforderungen an den Hohlraumgehalt.

**Tabelle 5.9:** Zusammenhang von Größtkorndurchmesser und Mischgutttyp beim Asphaltbeton (nach [57])

GRÖSSTKORN [MM]	MISCHGUTTYP			
	AC deck, A1	AC deck, A2	AC deck, A3	AC deck, A4
4	x		x	x
8	x	x	x	x
11	x	x		
16	x	x		
22	x			

Der Typ A1 stellt ein konventionelles Fahrbahndeckschichtkonzept eines Asphaltbetones dar. Ein auf eine hohe Verformungsbeständigkeit optimierter Mischgutttyp wird durch den Typ A2 definiert. Die Typen A3 und A4 sind als Asphalt dünn schicht decken konzipiert, wobei der Typ A3 einem hohlraumreichen Asphaltbeton mit einem maximalen Hohlraumgehalt von 6 Vol-% entspricht.

Die Anforderungen an die Sieblinien des Asphaltbetons der beiden Mischgutttypen A1 und A2 mit den Größtkorndurchmessern 8 mm und 11 mm (die die am meisten angewandten Asphaltbetone darstellen) für die Erstprüfung sind in Tabelle 5.10 aufgelistet.

**Tabelle 5.10:** Anforderungen an die Sieblinien des Asphaltbetons bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [57])

SIEBGRÖSSE [MM]	MISCHGUTTYP			
	AC 8 deck, A1	AC 8 deck, A2	AC 11 deck, A1	AC 11 deck, A2
16,0			100	100
11,2	100	100	90 bis 100	90 bis 100
8,0	90 bis 100	90 bis 100	65 bis 88	72 bis 88
5,6	–	–	–	–
4,0	55 bis 75	60 bis 76	–	–
2,0	35 bis 55	42 bis 55	30 bis 50	32 bis 47
1,0	anzugeben	anzugeben	anzugeben	anzugeben
0,5	15 bis 33	14 bis 27	13 bis 29	12 bis 25
0,25	anzugeben	anzugeben	anzugeben	anzugeben
0,063	5 bis 12	7 bis 11	5 bis 11	6 bis 10
Die anzugebende max. Bandbreite beträgt 12,0 M.-% (bis auf die Siebgröße 0,063 mm mit 4,0 M.-%).				

Beispielhaft sind in Abbildung 5.15 und in Abbildung 5.16 die Grenzsieblinien für den AC 11 deck bzw. AC 8 deck für die beiden Mischgutttypen A1 (in blauer Farbe) und A2 (in roter Farbe) gezeigt (ergänzt durch die Grenzsieblinien der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 bzw. von SMA 8, S2 in grauer strichlierter Farbe).

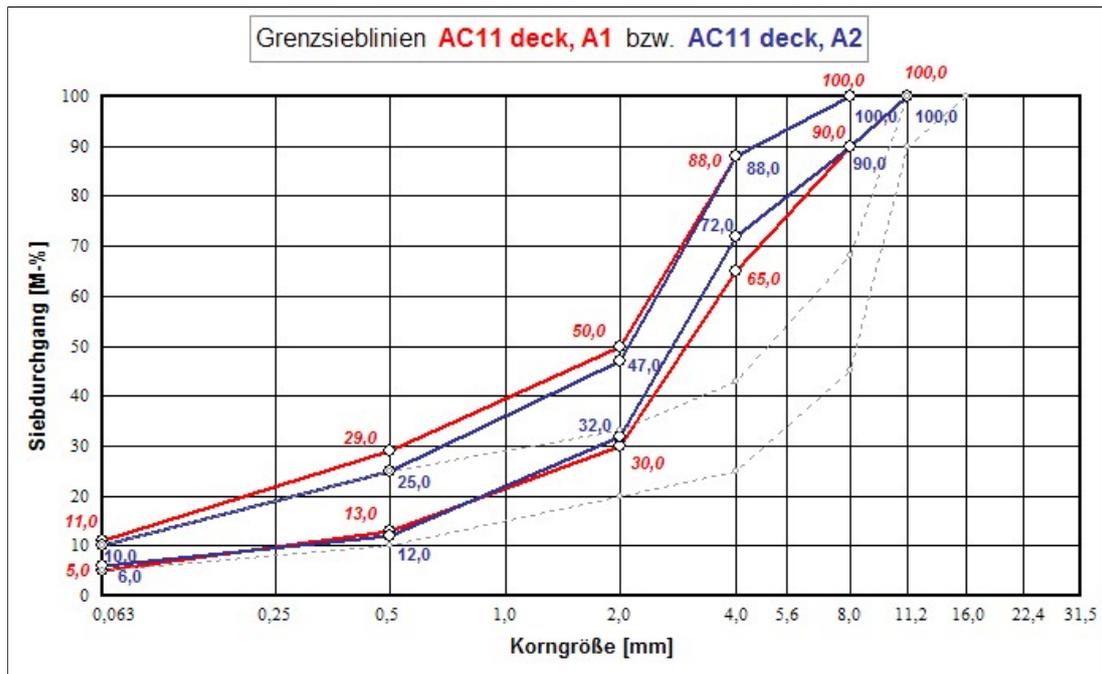


Abbildung 5.15: Grenzsieblinien für den Asphaltbeton AC11 deck (nach ÖNORM B 3580-1 [57]), SMA 11, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt

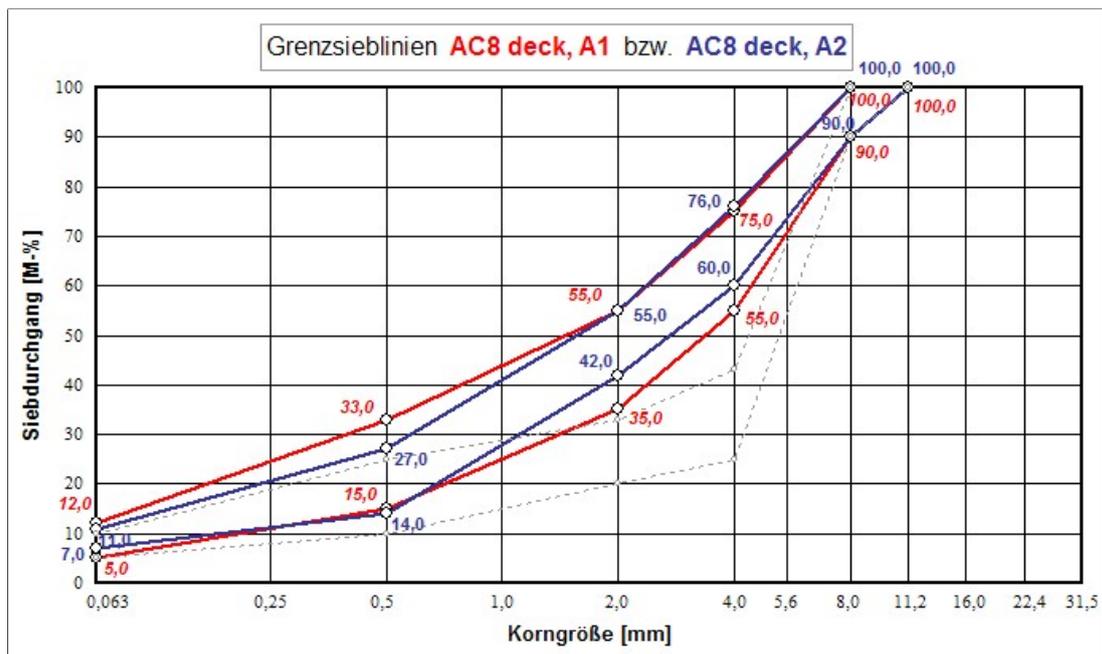


Abbildung 5.16: Grenzsieblinien für den Asphaltbeton AC8 deck (nach ÖNORM B 3580-1 [57]), SMA 8, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt

Die Anforderungen an die Gesteinskörnungen sind in den Tabellen 2 und 3 der ÖNORM B 3580-1 (siehe [57]) aufgelistet. Für den Asphaltbeton als Fahrbahndeckschicht AC deck werden die Gesteinsklassen G1, G2 und G3 empfohlen. Somit wird für den Widerstand gegen Zertrümmerung ein LA-Wert gem. ÖNORM EN 1097-2 [105] von maximal 20 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein LA-Wert von maximal 25 für die Gesteinskategorie G2 und G3 gefordert, für den Widerstand gegen Polieren ein PSV-Wert gem. ÖNORM EN 1097-8 [106] von minimal 50 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein PSV-Wert von minimal 44 für die Gesteinskategorie G2 (für die Gesteinskategorie G3 ist der PSV-Wert anzugeben).

Als Bindemittel sind für den Mischguttyp A1 sowohl die Straßenbaubitumen 50/70, 70/100 und 160/220 gem. ÖNORMEN 12591 [107] als auch die modifizierten Bitumen PmB 25/55-65, PmB 25/55-55, PmB 45/80-65, PmB 45/80-50 und PmB 90/150-45 gem. ÖNORM B 3613 [108] zugelassen. Für die Mischguttypen A2, A3 und A4 sind nur modifizierte Bindemittel zulässig. Der Typ A2 kann aber auch mit Straßenbaubitumen unter Verwendung von Bindemittel mit modifizierenden Zusätzen, wie z.Bsp. Naturasphalt, hergestellt werden. Die Anforderungen an das Asphaltmischgut von Asphaltbeton AC deck sind auszugsweise in Tabelle 5.11 zusammengefasst.

**Tabelle 5.11:** Anforderungen an das Asphaltmischgut von Asphaltbeton bei der Erstprüfung (Details siehe [57])

EIGENSCHAFT	MISCHGUTTYP			
	AC 8 deck, A1	AC 8 deck, A2	AC 11 deck, A1	AC 11 deck, A2
Bindemittelgehalt [M.-%]	≥ 3,0	≥ 3,0	≥ 3,0	≥ 3,0
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	1,0 bis 4,0	1,5 bis 4,0	1,5 bis 5,0	1,5 bis 5,0
prop. Spurrinnentiefe	–	–	≤ 7,0 %	≤ 7,0 %

Die Nachweise sind jeweils gem. ÖNORMEN 13108-20 [84] zu erbringen. Die anzugebende max. Bandbreite beträgt für den Bindemittelgehalt 0,6 M.-% und für den Hohlraumgehalt 2,0 Vol.-%.

Die Kennzeichnung des Asphaltbetons erfolgt nach dem folgenden Schema:

Größtkorn “D“ deck Bindemittelsorte, Mischguttyp, eventuelle Zusatzbezeichnungen (verwendete Zusätze, Identifikationsnummern)

Beispielhaft könnte somit ein Asphaltbeton folgendermaßen gekennzeichnet sein:

AC 11 deck PmB 45/80-65, A2, G1

### 5.4.3 Asphaltbeton - Anforderungen bei der Abnahmeprüfung

#### 5.4.3.1 Asphaltbeton - Anforderungen an das Asphaltmischgut

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut für Asphaltbetone AC deck sind in der Richtlinie RVS 08.97.05 [92] geregelt. Die Details der Anforderungen an die Parameter und deren Bandbreiten sind in den Tabellen 3, 4 und 5 der RVS 08.97.05 aufgelistet.

#### 5.4.3.2 Asphaltbeton - Anforderungen an die fertige Schicht

Die Anforderungen an die Asphaltschicht und an die Fahrbahnoberfläche für Asphaltbetone AC deck sind in der RVS 08.16.01 [85] geregelt.

Der Zusammenhang zwischen der Schichtdicke der Fahrbahndeckschicht Asphaltbeton AC deck und dem Größtkorn in der Mischgutzusammensetzung ist in Tabelle 5.12 angegeben.

**Tabelle 5.12:** Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn beim Asphaltbeton AC deck, A1 bzw. AC deck, A2 [85]

	GRÖSSTKORN [MM]	
	8	11
SCHICHTDICKE [CM]	2,5 bis 3,5	3,0 bis 4,0

Die Anforderungen an die Asphaltschicht von Asphaltbeton AC deck, A1 bzw. AC deck, A2 sind in Tabelle 5.13 zusammengefasst. Die Berechnung des Verdichtungsgrades erfolgt durch Division der Raumdichte der Schicht durch die Raumdichte des Marschall-Prüfkörpers der Abnahmeprüfung. Bei einem einvernehmlich festgelegten händischen Einbau können die Grenzwerte für den Verdichtungsgrad um 5% herabgesetzt werden.

Der Schichtverbund ist bei Solldicken  $\geq 3$  cm mittels Schubfestigkeit und bei Solldicken  $< 3$  cm mittels Haftzugfestigkeit zu prüfen.

**Tabelle 5.13:** Anforderungen an die Asphaltschicht von Asphaltbeton AC deck, A1 bzw. AC deck, A2 bei der Abnahmeprüfung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Schichtdicke <sup>(1)</sup> [mm]	ÖNORMEN 12697-36 [109]	$\geq SD -15\%$	$< SD -15\%$ bis $-40\%$	$< SD -40\%$
Verdichtungsgrad [%]	ÖNORMEN 12697-8 [110]	$\geq 98$	97 bis 94	$< 94$
Schubfestigkeit <sup>(2)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-1 [111]	$\geq 0,8$	0,7 bis 0,3	$< 0,3$
Schubfestigkeit <sup>(3)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-1 [111]	$\geq 1,2$	1,1 bis 0,6	$< 0,6$
Haftzugfestigkeit <sup>(2)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-2 [112]	$\geq 1,0$	0,9 bis 0,4	$< 0,4$
Haftzugfestigkeit <sup>(3)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-2 [112]	$\geq 1,5$	1,4 bis 0,8	$< 0,8$
(1) Die Solldicke SD ist in der Ausschreibung festgelegt.				
(2) bei Verwendung von Straßenbaubitumen				
(3) bei Verwendung von polymermodifiziertem Bitumen				

Die Anforderungen an den Hohlraumgehalt von Asphaltbeton AC deck sind in Abhängigkeit des verwendeten Mischguttyps für die Größtkorndurchmesser 8 mm und 11 mm in Tabelle 5.14 dargestellt. Die Bestimmung des Hohlraumgehaltes erfolgt dabei gemäß der österreichischen Norm ÖNORMEN 12697-8 [110].

**Tabelle 5.14:** Anforderungen an den Hohlraumgehalt von Asphaltbeton AC deck (nach [85])

MISCHGUTTYP	HOHLRAUMGEHALT [VOL.-%]		
	Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
AC 8 deck, A1	1,0 bis 5,0	5,1 bis 9,0	> 9,0
AC 8 deck, A2			
AC 11 deck, A1	2,0 bis 6,0	6,1 bis 10,0	> 10,0
AC 11 deck, A2			

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Asphaltbeton AC deck nach Fertigstellung sind in Tabelle 5.15 zusammengefasst.

**Tabelle 5.15:** Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Asphaltbeton AC deck nach Fertigstellung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Ebenheit [mm/4 m]	RVS 11.06.62 [113]	$\leq 4$	5 bis 12	> 12
Textur (Rautiefe) [mm]	ÖNORMEN 13036-1 [80]	$\geq 0,4$	–	< 0,4
Griffigkeit <sup>(1)</sup> [/]	RVS 11.06.65 [97]	$\mu \geq 0,62^{(2)}$	$0,59 > \mu \geq 0,52$	$\mu < 0,52$
<sup>(1)</sup> bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h				
<sup>(2)</sup> Sollwert - Messtoleranz (= 0,03) = Grenzwert für die Berechnung des Qualitätsabzuges				

Bei Bauloslängen unter 500 m kann der Auftraggeber auf die Messungen gem. RVS 11.06.65 mit dem System RoadSTAR verzichten und eine kombinierte Messung mit dem SRT- Pendel und dem Ausflusszylinder durchführen.

#### 5.4.4 Asphaltbeton - Gewährleistung

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften (Spurrinntiefe, Risse und Griffigkeit) vor dem Ablauf der Gewährleistungsfrist für Asphaltbeton AC deck sind in Tabelle 14 der RVS 08.16.01 [85] geregelt (siehe auch Abschnitt 5.2.2.1 dieser Arbeit - Nachweise vor Ablauf der Gewährleistungsfrist).

#### 5.4.5 Asphaltbeton - Betrachtung des Lärmemissionsverhaltens

##### 5.4.5.1 Allgemeines

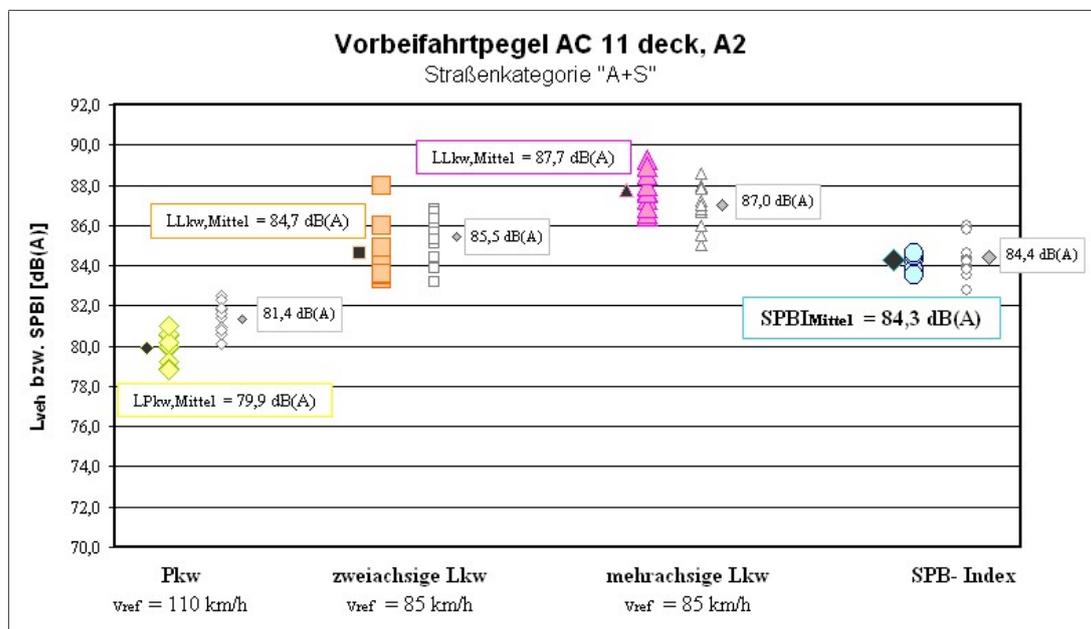
Für die Betrachtung der Lärmemissionen wird ein Asphaltbeton mit Größtkorn 11 mm des Mischguttyps A2 (AC 11 deck, A2) herangezogen. Dabei werden die in der Datenbank österreichischer Lärmessungen [29] gesammelten Lärmessdaten, sowohl Ergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen als auch aus Rollgeräuschmessungen, analysiert und jeweils den Ergebnissen der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 gegenübergestellt.

### 5.4.5.2 Lärmemissionen aus Vorbeifahrtmessungen

Bei der Analyse des Neuzustandes des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2 werden Messergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen herangezogen, die an Straßen der Straßenkategorie "A+S" durchgeführt wurden (für die anderen beiden Straßenkategorien "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" wären aufgrund der geringen Datenlage keine seriösen Analysen möglich).

Der Analyse der Vorbeifahrtmessungen werden somit als Referenzgeschwindigkeiten 110 km/h für die Fahrzeugkategorie "Pkw" und 85 km/h für die beiden Fahrzeugkategorien "zweiachsige Lkw" und "mehrachsige Lkw" zugrunde gelegt.

Abbildung 5.17 zeigt Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen der drei Fahrzeugkategorien an Autobahnen und Schnellstraßen inklusive Ergebnisse der Analysen der zugehörigen SPB-Indices. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (Messwerte bzw. SPB-Indices) der Abbildung 5.17 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



**Abbildung 5.17:** Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp AC 11 deck, A2 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2 ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren Vorbeifahrtindex von 84,3 dB(A). Bei der Betrachtung der einzelnen Fahrzeugkategorien ergibt sich für Pkw's ein mittlerer Vorbeifahrtpegel von 79,9 dB(A), für zweiachsige Lkw's einer von 84,7 dB(A) und für mehrachsige Lkw's einer von 87,7 dB(A). Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigen sich somit für die Fahrzeugkategorien "Pkw" und "zweiachsige Lkw" Reduktionen der Schallpegelwerte um bis zu maximal 0,8 dB(A), für den SPB-Index ergibt sich ungefähr das selbe Niveau.

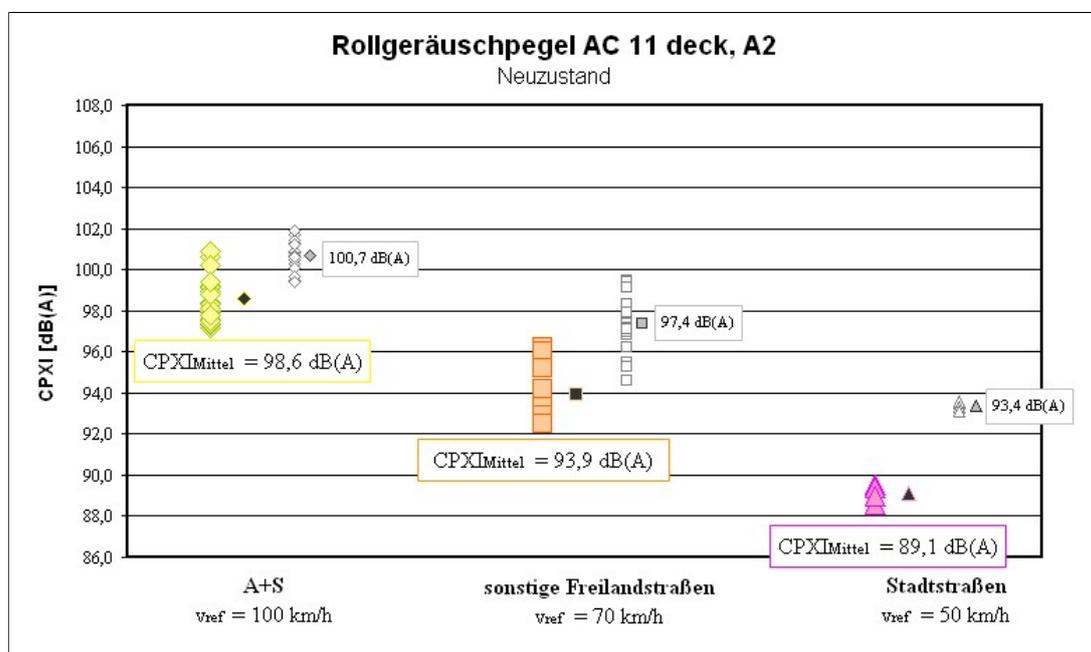
### 5.4.5.3 Lärmemissionen aus Rollgeräuschmessungen

Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen werden einerseits zur Analyse des Neuzustandes und andererseits zur Analyse des akustischen Alterungsverhaltens des Fahrbahndeck-

schichttyps AC 11 deck, A2 herangezogen. Als Grundlage zur akustischen Beurteilung dient der CPX-Index gem. ISO/CD 11819-2 [28] der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“.

Die im Folgenden gezeigten Messergebnisse und Analysen beziehen sich auf den Neuzustand des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2. Der Analyse der Rollgeräuschmessungen werden für die Straßenkategorie “A+S“ als Referenzgeschwindigkeit 100 km/h, für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ 70 km/h und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ 50 km/h zugrunde gelegt.

Abbildung 5.18 zeigt Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs AC 11 deck, A2 im Neuzustand an den drei untersuchten Straßenkategorien. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (CPX-Indices) der Abbildung 5.18 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



**Abbildung 5.18:** CPX-Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp AC 11 deck, A2 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2 ergeben für die Straßenkategorie “A+S“ einen mittleren CPX-Index von 98,6 dB(A), für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ einen von 93,9 dB(A) und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ einen von 89,1 dB(A). Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich somit ein eindeutiges Lärminderungspotenzial in den Rollgeräuschpegeln, das mit geringer werdender Messgeschwindigkeit zunimmt (für die Straßenkategorie “A+S“ ergibt sich eine Differenz im CPX-Index von 2,1 dB(A), während für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ diese Differenz bereits auf 4,3 dB(A) angewachsen ist).

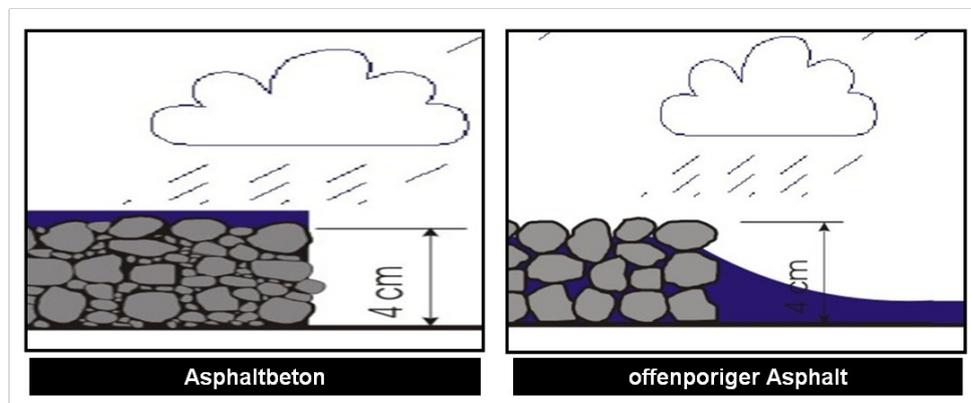
## 5.5 Lärmindernde Fahrbahndeckschichten - Asphaltbauweisen

### 5.5.1 Offenporiger Asphalt

#### 5.5.1.1 Offenporiger Asphalt - Bauweise

Ein offenporiger Asphalt ist gem. [87] als Asphalt mit einem sehr hohen Anteil an miteinander verbundenen Hohlräumen definiert.

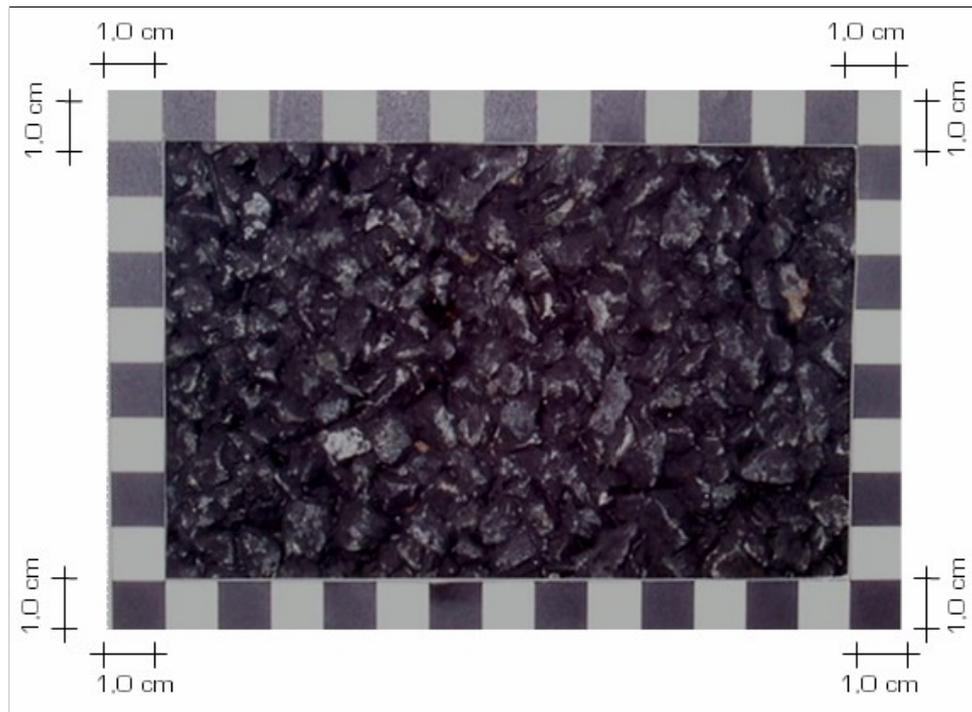
Charakteristisch für offene Asphalte ist ihr großer Hohlraumgehalt (bis zu 30 Vol.%). Dies wird durch eine Ausfallkörnung in der Sieblinie erreicht, in der Regel wird hauptsächlich die Fraktion des Größtkornes (8 mm, 11 mm bzw. 16 mm) verwendet und die mittleren Kornfraktionen so gut wie weggelassen. Durch den vermehrten Einsatz der größten Kornfraktion entsteht ein Monokorngerüst, das innerhalb der Fahrbahndeckschicht eine Verringerung der Korn-zu-Korn-Kontakte und an der Fahrbahndeckschichtoberfläche eine reduzierte Kontaktfläche der Fahrbahndeckschicht zu den überfahrenden Fahrzeugreifen bewirkt. Des Weiteren entstehen dadurch innerhalb der Fahrbahndeckschicht die zusammenhängenden Hohlräume, die einerseits eine zur Verringerung des Straßenverkehrslärms ausreichende schallabsorbierende Wirkung hervorrufen und andererseits eine Entwässerung durch die Fahrbahndeckschicht hindurch bewirken. Eine schematische Darstellung des Aufbaues von offenporigem Asphalt im Vergleich zum Asphaltbeton ist in Abbildung 5.19 dargestellt.



**Abbildung 5.19:** Schematische Darstellung des Aufbaues und der entwässernden Wirkung von Asphaltbeton und offenporiger Asphalt (nach [114])

Um trotz des hohen Hohlraumgehaltes der Fahrbahndeckschicht sowohl die Haltbarkeit als auch die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche sicherzustellen, muss auf eine hohe Qualität der verwendeten Materialien zur Mischgutzusammensetzung großen Wert gelegt werden. Das betrifft vor allem die Kantfestigkeit und Polierresistenz der verwendeten Gesteinsfraktionen, sowie den Einsatz von polymermodifizierten Bindemitteln [103]. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die verwendeten Bindemittel eine sehr gute Alterungsbeständigkeit aufweisen, da sie durch den zusammenhängenden hohen Hohlraumgehalt äußeren Bedingungen wie zum Beispiel Nässe, Temperatur und/oder Verschmutzungen stark ausgesetzt sind.

Abbildung 5.20 zeigt ein typisches Oberflächenbild einer Fahrbahndeckschicht aus offenporigem Asphalt (mit Größtkorn 11 mm).



**Abbildung 5.20:** Oberfläche eines offenporigen Asphalt mit Größtkorn 11 mm

Für offenporige Asphaltfahrbahndeckschichten ist vor dem Einbau eine Zwischenschicht (z.Bsp. SAMI) als Abdichtung der Unterlage aufzubringen. Diese Schicht ist aus der gleichen Bindemittelsorte, welche in der offenporigen Asphaltdeckschicht verwendet wird, in einer Menge von ca.  $2-3 \text{ kg/m}^2$  herzustellen. Nach [85] ist zur Sicherstellung der Befahrbarkeit eine bitumentumhüllte Gesteinskörnung 4/8, 8/11 oder 11/16, jeweils der Gesteinsklasse G1 (in Abhängigkeit der Korngröße ca.  $5-15 \text{ kg/m}^2$ ), mittels Streugerät aufzubringen und mit Gummiradwalzen anzudrücken. Vor der Überbauung mit der Deckschicht ist dann der überschüssige Splitt abzukehren. Beim Einbau der offenporigen Asphaltdeckschicht dürfen zur Verdichtung nur Glattmantelwalzen verwendet werden.

Der Einsatz von offenporigen Asphaltdeckschichten ist neben der entwässernden Wirkung vor allem durch den großen Beitrag dieser Asphaltdeckschichtart zur Verringerung des Straßenverkehrslärms motiviert. Air-Pumping-Geräusche können durch die offenporige hohlraumreiche Deckschichtstruktur und durch eine offene Gestaltung der Textur der Straßenoberfläche mit verbundenen Kanälen abgebaut werden, so dass in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahndeckschicht die durch den Reifen komprimierte Luft seitwärts entweichen kann (siehe auch Abschnitt 3.2.3.3 dieser Arbeit).

In den letzten Jahren wurde neben dem einlagigen offenporigen Asphalt eine zweilagige Fahrbahndeckschichtvariante entwickelt, wobei durch die unterschiedliche Mischgutzusammensetzung der beiden Schichten (feinkörnige obere und grobkörnige untere Schicht) eine weitere Erhöhung des Hohlraumgehaltes des gesamten Deckschichtpaketes erreicht werden konnte (und somit eine Erhöhung des Lärminderungspotenzials).

Bei der zweilagigen Bauweise kann die obere Schicht als Schmutzfilter dienen. Weist diese Verstopfungserscheinungen auf, so könnte durch eine Abfräsung der oberen Schicht und einem neuerlichen Einbau einer offenporigen Asphaltdeckschicht wiederum eine hohlraumreiche Fahrbahndeckschicht hergestellt werden. Weiters weisen zweischichtige offenporige Asphaltdeckschichten aufgrund der größeren Schichtdicke des gesamten Asphaltpakets ein

höheres Lärminderungspotenzial für Lastkraftwagen als einlagige offenporige Asphaltdeckschichten auf. Somit könnte der zweischichtige offenporige Asphalt auch innerorts und bei niedrigeren Fahrgeschwindigkeiten des Verkehrs eingesetzt werden. Abbildung 5.21 zeigt schematisch den zweilagigen Aufbau von offenporigem Asphalt.

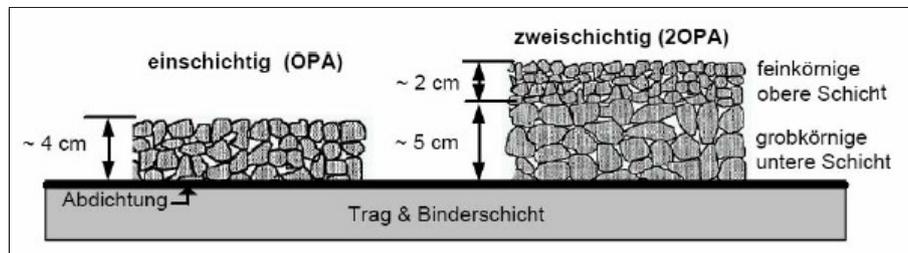


Abbildung 5.21: Aufbauarten von offenporigen Asphaltdeckschichten [115]

### 5.5.1.2 Offenporiger Asphalt - Vor- und Nachteile

Durch die spezielle Struktur von offenporigen Asphaltdeckschichten ergeben sich sowohl positive als auch negative Aspekte dieser Bauweise. Positiv sind vor allem das Lärminderungspotenzial sowie eine durch die erhöhte Drainagefähigkeit ermöglichte verbesserte Verkehrssicherheit im Vergleich zu dichten Asphaltdeckschichttypen zu werten. Als negative Aspekte sind größtenteils modifizierte Anforderungen an den Winterdienst, eine mögliche Verschmutzung der offenporigen Struktur sowie eine kürzere Lebensdauer im Vergleich zu dichten Fahrbahndeckschichttypen aus Asphalt zu nennen [116].

#### *Vorteile offenporiger Asphaltdeckschichten*

##### - Lärminderung

Die lärmindernde Wirkung von offenporigen Asphaltdeckschichten ist unbestritten und durch viele Messergebnisse belegt. Aus dem hohen Hohlraumgehalt der offenporigen Asphaltdeckschichten resultieren einerseits hohe Schallabsorptionseigenschaften dieses Fahrbahndeckschichttyps und damit andererseits eine Reduktion der Reifen- Rollgeräusche sowie der Vorbeifahrtgeräusche.

##### - Verkehrssicherheit

Neben der lärmindernden Wirkung ergeben sich bei offenporigen Asphaltdeckschichten weitere positive Effekte, die bei dichten Asphaltdeckschichten nicht bzw. nicht im selben Ausmaß erreicht werden. Der große Hohlraumgehalt der offenporigen Systeme ermöglicht es, die Wassermenge eines durchschnittlichen Niederschlagsereignisses problemlos aufzunehmen und innerhalb der Fahrbahndeckschicht zum Straßenrand hin zu entwässern. Dadurch ergeben sich als positive Effekte eine Reduktion der Aquaplaninggefahr, eine Reduktion der Sprühhahnenbildung und eine Reduktion unerwünschter Lichtreflexionen. Ein Beispiel für die Reduktion der Sprühhahnenbildung an offenporigem Asphalt im Vergleich zu einem dichten Asphaltdeckschichttyp zeigen die in Abbildung 5.22 dargestellten Sichtverhältnisse.

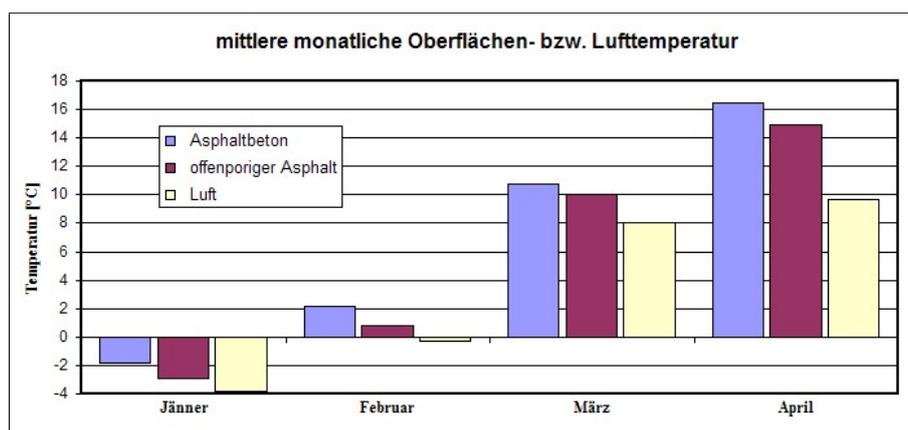


**Abbildung 5.22:** Reduktion der Sprühhahnbildung bei der offenporigen im Vergleich zur dichten Fahrbahndeckschichtbauweise (nach [117])

### Nachteile offenporiger Asphaltdeckschichten

#### - Modifizierte Anforderungen an den Winterdienst

Die hohlraumreiche Struktur und die damit größere spezifische Oberfläche von offenporigen Asphaltdeckschichten bewirkt, dass diese etwas kälter als dichte Asphaltdeckschichten sind. Der vorhandene Temperaturunterschied wird nach [118] mit 1 bis 2°C angegeben (siehe Abbildung 5.23). Die Ursache für dieses unterschiedliche thermische Verhalten liegt in einer geringeren Wärmespeicherkapazität und einer geringeren thermischen Leitfähigkeit der Luft im Vergleich zu dichten Stoffen.



**Abbildung 5.23:** Mittlere monatliche Oberflächentemperatur offenporiger und dichter Asphaltdeckschichtsysteme im Vergleich mit der Lufttemperatur (nach [118])

Diese physikalischen Vorgänge haben die Wirkung, dass bei einer Temperaturabnahme offenporige Asphaltdeckschichten ungefähr eine halbe Stunde früher den Gefrierpunkt erreichen können als dichte Asphaltdeckschichten. Im umgekehrten Fall, also beim Temperaturanstieg, überschreitet die Temperatur der offenporigen Asphaltdeckschicht sogar erst eine Stunde später als die der dichten Asphaltdeckschicht den 0°C-Punkt [118]. Dies führt dazu, dass die Temperatur der offenporigen Asphaltdeckschichten insgesamt rund 5% länger

unter dem Gefrierpunkt liegt als die von dichten Asphaltdeckschichten. Durch die einerseits niedrigeren Temperaturen von offenporigen Asphaltdeckschichten und andererseits durch die offenporige Struktur und die damit verbundenen Konsequenzen, wie raschere Eisbildung und früheres Ansetzen von Schnee, ergeben sich für die zuständigen Autobahn- und Straßenmeistereien zusätzliche Anforderungen an den Winterdienst im Vergleich zu dichten Asphaltdeckschichttypen, wie zum Beispiel einen früher notwendigen Winterdiensteinsatz oder eine erhöhte Fahrtenanzahl der Streudienste. Daraus resultiert ein Mehrverbrauch an Auftaumittel in einer Größenordnung von bis zu 50% [75]. Besonders kritische Situationen ergeben sich bei Regenereignissen auf einer unterkühlten Asphaltdeckschicht oder bei Eisregen, da eine einmal durchgefrorene offenporige Asphaltdeckschicht nur sehr schwer von Eis befreit werden kann, was unweigerlich zu Straßensperren führt. Die Frage der Präventivstreuung ist dabei etwas umstritten, da das vorbeugend aufgebraachte Salz mit den ersten Niederschlägen rasch in die Poren verfrachtet wird und daher für die oberflächige Auftauwirkung nicht mehr zur Verfügung stehen kann. Eine Präventivstreuung erscheint daher nur bei speziellen Wettersituationen, wie zum Beispiel bei Schneefall nach einer Trockenperiode, sinnvoll. Um diesen modifizierten Anforderungen an den Winterdienst gerecht zu werden, erscheint es sinnvoll, das zuständige Räumungsteam einer speziellen Schulung zu unterziehen. Ein exaktes Wetterprognosesystem sowie eine elektronische Fahrbahnzustandsüberwachung ist ebenso ein wertvolles Hilfsmittel zur Bewältigung der Wintermonate. Die modifizierten Anforderungen an den Winterdienst können ebenso ein Hindernis für den Einsatz von offenporigen Asphaltdeckschichten auf jeweils sehr kurzen Teilstrecken darstellen.

- Erhöhte Neigung zu Kornausbrüchen

Aufgrund des Einkorngerüstes von offenporigen Asphaltdeckschichten ergeben sich geringere Korn-zu-Korn-Kontaktflächen und damit eine erhöhte Belastung des Korngerüstes. Einer hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber vertikalen Belastungen steht ein geringerer Widerstand gegen auftretende Schubkräfte, wie zum Beispiel im Bereich von engen Kurven oder Brems- und Beschleunigungsstrecken, gegenüber. Das resultiert in einer erhöhten Anzahl von Kornausbrüchen, die vor allem auch nach den Wintermonaten zu bemerken sind und oftmals auch durch die mechanische Beanspruchung durch Schneeketten hervorgerufen werden. Beispiele für Kornausbrüche an offenporigen Asphaltdeckschichten sind in Abbildung 5.24 dargestellt.



**Abbildung 5.24:** Beispiele für Kornausbrüche an offenporigen Asphaltdeckschichten

### - Verringerte strukturelle Lebensdauer

Offenporige Asphaltdeckschichten weisen in der Regel eine verringerte strukturelle Lebensdauer im Vergleich zu konventionellen Asphaltdeckschichten auf. Besonders ist aber darauf hinzuweisen, dass das Ende der Nutzungsdauer eines offenporigen Asphalttes in der Regel schlagartig erreicht wird. Dadurch ergibt sich für den Straßenerhalter eine besondere Schwierigkeit einer vorausschauenden Planung für etwaige durchzuführende bauliche Maßnahmen an der Asphaltdeckschicht [114].

#### *Einsatzgrenzen offenporiger Asphaltdeckschichten*

Aus den bereits genannten Nachteilen der offenporigen Asphaltbauweise ergeben sich einige Einsatzgrenzen dieses Fahrbahndeckschichttyps. Diese können sich in technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Hinsicht ergeben. Bei Betrachtung der zuvor beschriebenen negativen Aspekte lassen sie sich wie folgt auflisten:

- Einsatz vorwiegend im hochrangigen Straßennetz (im Winterdienst nur Salzstreuung, kein Streusplitt)
- zusammenhängende offenporige Asphaltstrecken sinnvoll (Winterdienst)
- Einsatz im innerstädtischen Bereich problematisch (hohe Fahrgeschwindigkeiten zur Selbstreinigung notwendig, Einbau, ...)
- Einsatz an Steigungsstrecken problematisch (mechanischer Abrieb durch Brems- und Beschleunigungsvorgänge, Verwendung von Schneeketten, ...)
- Einsatz in engen Kurven problematisch
- Schwierigkeit einer vorausschauenden Planung bei der baulichen Erhaltung (plötzliches strukturelles Versagen, ...)

#### *Betrachtung der Lebensdauer*

Mit einer durchschnittlichen strukturellen Lebensdauer von ca. 10 Jahren (siehe [101]) erfordern offenporige Asphaltdeckschichten eine wesentlich höhere Frequenz an Erneuerungsarbeiten als dichte Asphaltdeckschichten.

Zur Analyse des Langzeitverhaltens ist aber nicht nur die strukturelle, sondern auch die akustische Lebensdauer beim Einsatz von lärmindernden offenporigen Asphaltdeckschichten von großer Wichtigkeit.

### - Strukturelle Lebensdauer

Die strukturelle Lebensdauer von offenporigen Asphaltdeckschichten ist grundsätzlich von den verwendeten Materialien zur Asphaltdeckschichtherstellung, vom ordnungsgemäßen Einbau und von den äußeren Belastungen während der Liegedauer abhängig. Ziel zur Erhaltung einer möglichst langen Liegedauer ist es, Kornausbrüche und sonstige Oberflächenschäden zu verhindern. Das beginnt schon bei der Wahl der Ausgangsmaterialien, das Gesteinsmaterial muss eine gute Kornform, eine hohe Frostbeständigkeit und eine hohe Festigkeit aufweisen. Da die Kontaktflächen der Körner zueinander bei offenporigem Asphalt geringer als bei dichten Asphaltdeckschichten sind, werden an das zu verwendende

Bindemittel ebenfalls hohe Anforderungen gestellt (Verwendung von polymermodifiziertem Bindemittel).

Besonderen Einfluss auf die strukturelle Lebensdauer von offenporigen Asphaltdeckschichten hat die Verkehrsbelastung, und hier vor allem der Schwerverkehr. Mechanische Schäden, zum Beispiel durch Unfälle oder durch Radfelgen (siehe Abbildung 5.25), stellen bei offenporigen Asphaltdeckschichten ein besonderes Problem dar, da kleinflächige Reparaturmaßnahmen zu einer Störung der Drainagefähigkeit führen können sowie die lärmindernde Wirkung verringern. Eine Sanierung solcher Schäden kann prinzipiell nur durch eine großflächige Erneuerung über die gesamte Fahrbahnbreite erfolgen. Die Folge daraus sind höhere Erhaltungskosten im Vergleich zu dichten Asphaltdeckschichttypen [114].



**Abbildung 5.25:** Beispiel für mechanische Schäden an offenporigen Asphaltdeckschichten durch Radfelgen [114]

#### - Akustische Lebensdauer

Die lärmindernde Wirkung von offenporigen Asphaltdeckschichten beruht sowohl auf deren Oberflächentextur als auch auf den schallabsorbierenden Eigenschaften, die durch den hohen Hohlraumgehalt dieser Asphaltdeckschichtart entstehen.

Das Grundprinzip zur Erhaltung einer signifikanten Lärminderung im Vergleich zu dichten Fahrbahndeckschichttypen ist somit, diese schallabsorbierenden Eigenschaften durch eine Verhinderung der Verstopfung der Poren möglichst aufrecht zu erhalten. Dies geschieht bei hohen Fahrgeschwindigkeiten durch einen so genannten Selbstreinigungsprozess, der durch die Sogwirkung der Reifen der Fahrzeuge entsteht. Eine gewisse Frequenz an Fahrzeugen ist allerdings notwendig, um diesen Prozess aufrecht zu erhalten. Eine Möglichkeit, eine bereits verstopfte offenporige Asphaltdeckschicht wieder akustisch wirksam zu machen, wäre eine Reinigung der Asphaltdeckschicht mittels eines Hochdruckverfahrens. Dabei wird zuerst der in den Poren sitzende Schmutz durch einen Wasserstrahl gelöst, um anschließend abgesaugt zu werden. Allerdings ist der erzielte Effekt dieser Reinigungsgeräte etwas umstritten, ebenso steigen durch diese Maßnahme die Erhaltungskosten für diesen Fahrbahndeckschichttyp (siehe [62], [119]) und [120]).

### 5.5.1.3 Offenporiger Asphalt - Anforderungen bei der Erstprüfung

Der Nachweis der Eignung einer Fahrbahndeckschicht wird vom Auftragnehmer in Form einer CE-Kennzeichnung des Produktes in Verbindung mit dem korrespondierenden Erstprüfungsbericht erbracht. Für den offenporigen Asphalt (PA) sind die Anforderungen an das Asphaltmischgut bei der Erstprüfung in der österreichischen Norm ÖNORM B 3586-1 [56] (empirischer Ansatz) bzw. in der ÖNORM B 3586-2 [91] (gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen) geregelt. Gemäß den Richtlinien RVS 08.97.05 [92] und RVS 08.16.01 [85] ist das Asphaltmischgut für offenporigen Asphalt nach ÖNORM B 3586-1 herzustellen. In dieser ÖNORM werden verschiedene Mischgutttypen bezogen auf die Mischgutzusammensetzung und auf die Anforderungen an die Gesteinskörnungen definiert.

Demnach wird bei der offenporigen Asphaltbauweise zwischen den vier Mischgutttypen P1, P2, P3 und P4 mit einem Größtkorn von jeweils 8 mm, 11 mm und 16 mm unterschieden. Der Typ P1 entspricht einem nach der ehemaligen RVS 8S.01.41 [121] herkömmlichen offenporigen Asphalt (Drainasphalt). Der Typ P2 besitzt leicht modifizierte Grenzsieblinien, die zu einem höheren Hohlraumgehalt führen. Der Mischguttyp P1 wird aufgrund der im Vergleich zum Mischguttyp P2 etwas dichteren Mischgutzusammensetzung für größere strukturelle Beanspruchungen wie z.Bsp. an Steigungsstrecken oder bei kritischeren klimatischen Beanspruchungen (Kälte, ...) angewandt. Der Typ P3 findet vor allem im Sportstättenbau Verwendung und beim Typ P4 handelt es sich um ein Traggerüst für eine halbstarre Deckschicht (Vermörtelungsschicht).

Die Anforderungen an die Sieblinien des offenporigen Asphalttes der beiden maßgebenden Mischgutttypen P1 und P2 mit Größtkorn 8 mm und 11 mm an die Erstprüfung sind in Tabelle 5.16 aufgelistet.

**Tabelle 5.16:** Anforderungen an die Sieblinien des offenporigen Asphalttes mit Größtkorn 8 mm bzw. 11 mm bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [56])

SIEBGRÖSSE [MM]	MISCHGUTTYP			
	PA 8, P1	PA 8, P2	PA 11, P1	PA 11, P2
16,0			100	100
11,2	100	100	90 bis 100	90 bis 100
8,0	90 bis 100	90 bis 100	17 bis 37	17 bis 37
5,6	–	–	–	–
4,0	20 bis 40	15 bis 30	–	–
2,0	10 bis 17	8 bis 15	10 bis 17	8 bis 15
1,0	anzugeben	anzugeben	anzugeben	anzugeben
0,5	3 bis 15	3 bis 15	3 bis 15	3 bis 15
0,25	anzugeben	anzugeben	anzugeben	anzugeben
0,063	2 bis 6	2 bis 6	2 bis 6	2 bis 6

Die anzugebende max. Bandbreite beträgt 12,0 M.-% (bis auf die Siebgröße 0,063 mm mit 4,0 M.-%).

Bei der Betrachtung eines zweilagigen offenporigen Asphalttes sind zusätzlich noch die Anforderungen an einen PA mit Größtkorn 16 mm, der standardmäßig die untere Schicht

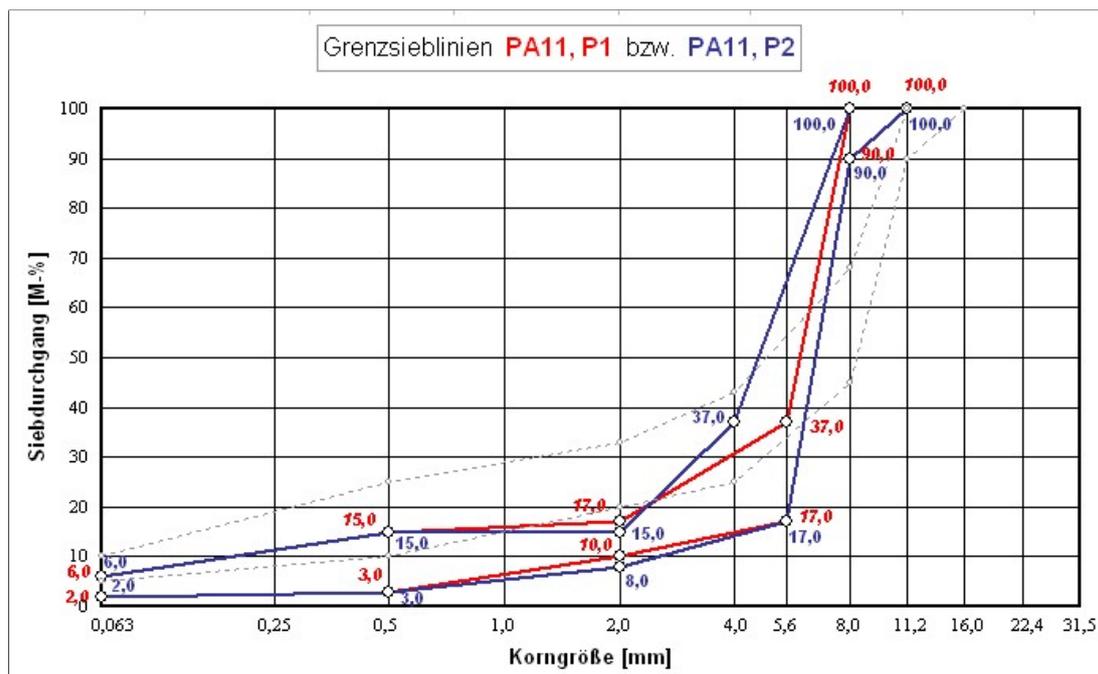
darstellt, zu beachten. Die Anforderungen an die Sieblinien des PA 16 sind in Tabelle 5.17 dargestellt.

**Tabelle 5.17:** Anforderungen an die Sieblinien des offenporigen Asphalt mit Größtkorn 16 mm bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [56])

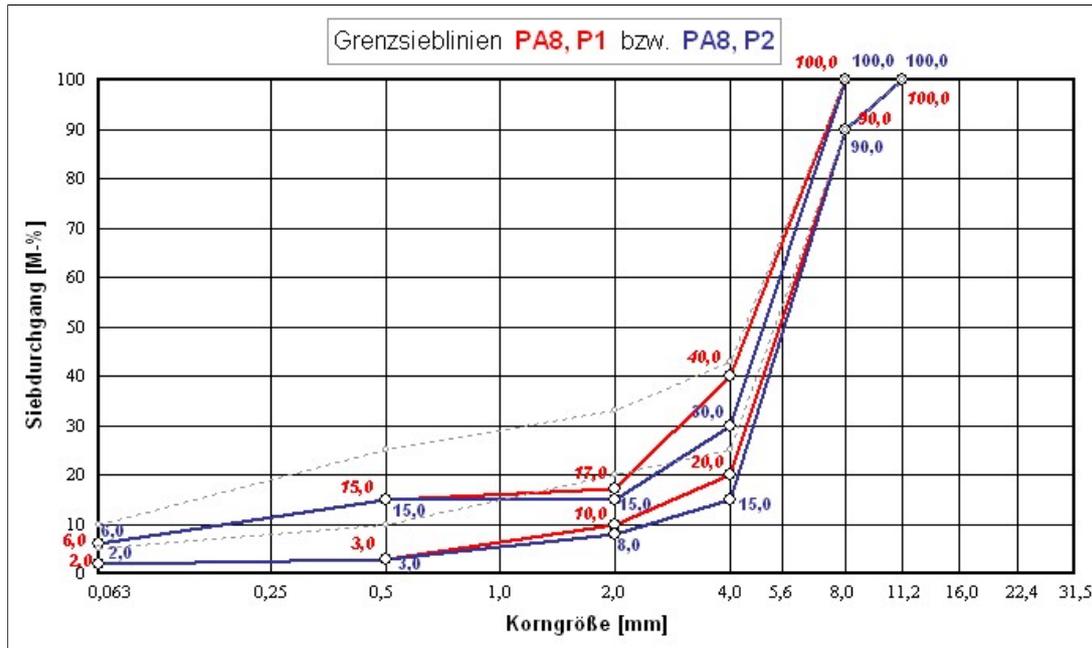
SIEBGRÖSSE [MM]	MISCHGUTTYP	
	PA 16, P1	PA 16, P2
22,4	100	100
16,0	90 bis 100	90 bis 100
11,2	17 bis 37	17 bis 37
8,0	–	–
5,6	–	–
4,0	–	–
2,0	10 bis 17	8 bis 15
1,0	anzugeben	anzugeben
0,5	3 bis 15	3 bis 15
0,25	anzugeben	anzugeben
0,063	2 bis 6	2 bis 6

Die anzugebende max. Bandbreite beträgt 12,0 M.-%  
(bis auf die Siebgröße 0,063 mm mit 4,0 M.-%).

Beispielhaft sind in Abbildung 5.26 und in Abbildung 5.27 die Grenzsieblinien jeweils für den PA 11 bzw. PA 8 für die beiden Mischguttypen P1 (in roter Farbe) und P2 (in blauer Farbe) dargestellt (ergänzt durch die Grenzsieblinien der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 bzw. von SMA 8, S2 in grauer strichlierter Farbe).



**Abbildung 5.26:** Grenzsieblinien für den offenporigen Asphalt PA 11 (nach ÖNORM B 3586-1 [56]), SMA 11, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt



**Abbildung 5.27:** Grenzsieblinien für den offenporigen Asphalt PA 8 (nach ÖNORM B 3586-1 [56]), SMA 8, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt

Die Anforderungen an die Gesteinskörnungen sind in den Tabellen 2 und 3 der ÖNORM B 3586-1 (siehe [56]) aufgelistet. Für den offenporigen Asphalt werden die Gesteinsklassen G1, G2 und G3 empfohlen. Somit wird für den Widerstand gegen Zertrümmerung ein LA-Wert gem. ÖNORM EN 1097-2 [105] von maximal 20 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein LA-Wert von maximal 25 für die Gesteinskategorien G2 und G3 gefordert, für den Widerstand gegen Polieren ein PSV-Wert gem. ÖNORM EN 1097-8 [106] von minimal 50 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein PSV-Wert von minimal 44 für die Gesteinskategorie G2 (für die Gesteinskategorie G3 ist der PSV-Wert anzugeben).

Als Bindemittel sind die modifizierten Bitumen PmB 25/55-65, PmB 25/55-55, PmB 45/80-65, PmB 45/80-50 und PmB 90/150-45 gem. ÖNORM B 3613 [108] zugelassen. Die Verwendung von Ausbaupasphalt ist nicht zulässig.

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut von offenporigem Asphalt sind auszugsweise in Tabelle 5.18 zusammengefasst.

**Tabelle 5.18:** Anforderungen an das Asphaltmischgut von offenporigem Asphalt bei der Erstprüfung (Details siehe [56])

EIGENSCHAFT	MISCHGUTTYP					
	PA 8, P1	PA 11, P1	PA 16, P1	PA 8, P2	PA 11, P2	PA 16, P2
Bindemittelgehalt [M.-%]	≥ 3,0					
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	16,0 bis "anzugeben"			22,0 bis "anzugeben"		
Kornverlust [M.-%]	≤ 30			≤ 40		
Bindemittelablauf	0,0 %					

Die Nachweise sind jeweils gem. ÖNORMEN 13108-20 [84] zu erbringen. Die anzugebende max. Bandbreite beträgt für den Bindemittelgehalt 0,6 M.-% und für den Hohlraumgehalt 4,0 Vol.-%.

Die Kennzeichnung des offenporigen Asphalt erfolgt nach dem folgenden Schema:  
Größtkorn "D" Bindemittelsorte, Mischgutttyp, Gesteinsklasse, eventuelle Zusatzbezeichnungen (verwendete Zusätze, Identifikationsnummern)

Beispielhaft könnte somit ein offenporiger Asphalt folgendermaßen gekennzeichnet sein:

PA 8 PmB 45/80-65, S2, G1

#### 5.5.1.4 Offenporiger Asphalt - Anforderungen bei der Abnahmeprüfung

##### *Offenporiger Asphalt - Anforderungen an das Asphaltmischgut*

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut für offenporigen Asphalt sind in der Richtlinie RVS 08.97.05 [92] geregelt. Die Details der Anforderungen an die Parameter und deren Bandbreiten sind in den Tabellen 3, 4 und 5 der RVS 08.97.05 aufgelistet.

##### *Offenporiger Asphalt - Anforderungen an die fertige Schicht*

Die Anforderungen an die Asphalttschicht und an die Fahrbahnoberfläche für offenporigen Asphalt sind in der RVS 08.16.01 [85] geregelt.

Der Zusammenhang zwischen der Schichtdicke der Fahrbahndeckschicht offenporiger Asphalt und dem Größtkorn in der Mischgutzusammensetzung ist in Tabelle 5.19 angegeben.

**Tabelle 5.19:** Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn beim offenporigen Asphalt [85]

	GRÖSSTKORN [MM]		
	8	11	16
SCHICHTDICKE [CM]	3,0 bis 4,0	4,0 bis 5,0	5,0 bis 6,0

Die Anforderungen an die Asphalttschicht von offenporigem Asphalt sind in Tabelle 5.20 zusammengefasst. Die Berechnung des Verdichtungsgrades erfolgt durch Division der Raumdichte der Schicht durch die Raumdichte des Marschall-Prüfkörpers der Abnahmeprüfung.

Bei einem einvernehmlich festgelegten händischen Einbau können die Grenzwerte für den Verdichtungsgrad um 5% herabgesetzt werden.

Der Schichtverbund ist mittels Schubfestigkeit zu prüfen.

**Tabelle 5.20:** Anforderungen an die Asphaltenschicht von offenporigem Asphalt bei der Abnahmeprüfung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Schichtdicke <sup>(1)</sup> [mm]	ÖNORMEN 12697-36 [109]	≥ SD -15%	< SD -15% bis -40%	< SD -40%
Verdichtungsgrad [%]	ÖNORMEN 12697-8 [110]	–	–	–
Schubfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORM B 3639-1 [111]	≥ 1,2	1,1 bis 0,6	< 0,6
Haftzugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORM B 3639-2 [112]	–	–	–

<sup>(1)</sup> Die Solldicke SD ist in der Ausschreibung festgelegt.

Die Anforderungen an den Hohlraumgehalt von offenporigem Asphalt sind in Abhängigkeit des verwendeten Mischguttyps für die Größtkorndurchmesser 8 mm, 11 mm und 16 mm in Tabelle 5.21 dargestellt.

**Tabelle 5.21:** Anforderungen an den Hohlraumgehalt von offenporigem Asphalt (nach [85])

MISCHGUTTYP	HOHLRAUMGEHALT [VOL.-%]		
	Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
PA 8 P1	16,0 bis 25,0	25,1 bis 29,0	> 29,0
PA 8 P2	22,0 bis 32,0	32,1 bis 36,0	> 36,0
PA 11 P1	16,0 bis 25,0	25,1 bis 29,0	> 29,0
PA 11 P2	22,0 bis 32,0	32,1 bis 36,0	> 36,0
PA 16 P1	16,0 bis 25,0	25,1 bis 29,0	> 29,0
PA 16 P2	22,0 bis 32,0	32,1 bis 36,0	> 36,0

Die Bestimmung des Hohlraumgehaltes erfolgt dabei gemäß der österreichischen Norm ÖNORMEN 12697-8 [110].

Die Bestimmung der Raumdichte zur Ermittlung des Hohlraumgehaltes des offenporigen Asphaltes der Typen P1 und P2 erfolgt gem. ÖNORM 12697-6 [122] mit dem Ausmessverfahren.

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von offenporigem Asphalt nach Fertigstellung sind in Tabelle 5.22 zusammengefasst.

**Tabelle 5.22:** Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von offenporigem Asphalt nach Fertigstellung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Ebenheit [mm/4 m]	RVS 11.06.62 [113]	$\leq 4$	5 bis 12	$> 12$
Textur (Rautiefe) [mm]	ÖNORMEN 13036-1 [80]	–	–	–
Griffigkeit <sup>(1)</sup> [/]	RVS 11.06.65 [97]	$\mu \geq 0,62^{(2)}$	$0,59 > \mu \geq 0,52$	$\mu < 0,52$
Drainverhalten [sec.]	RVS 11.06.61 [77]	$\leq 25$	26 bis 50	$> 50$
Rollgeräusch <sup>(3)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 100$	–	$> 100$
Rollgeräusch <sup>(4)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 96$	–	$> 96$
Rollgeräusch <sup>(5)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 87$	–	$> 87$
<sup>(1)</sup> bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h				
<sup>(2)</sup> Sollwert - Messtoleranz (=0,03) = Grenzwert für die Berechnung des Qualitätsabzuges				
<sup>(3)</sup> bei einer Messgeschwindigkeit von 100 km/h für Bundesstraßen A+S				
<sup>(4)</sup> bei einer Messgeschwindigkeit von 80 km/h für Bundesstraßen A+S bzw. Landesstraßen B+L				
<sup>(5)</sup> bei einer Messgeschwindigkeit von 50 km/h für Landesstraßen B+L im Ortsgebiet				

Bei Bauloslängen unter 500 m kann der Auftraggeber auf die Messungen gem. RVS 11.06.65 mit dem System RoadSTAR verzichten und eine kombinierte Messung mit dem SRT- Pendel und dem Ausflussszylinder durchführen.

#### 5.5.1.5 Offenporiger Asphalt - Gewährleistung

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften (Spurrinntiefe, Risse und Griffigkeit) vor dem Ablauf der Gewährleistungsfrist für offenporigen Asphalt sind in Tabelle 14 der RVS 08.16.01 [85] geregelt (siehe auch Abschnitt 5.2.2.1 dieser Arbeit - Nachweise vor Ablauf der Gewährleistungsfrist).

Die Gewährleistung erstreckt sich allerdings nicht auf die Veränderung des Hohlraumgehaltes und der Drainagewirkung durch nachträgliche Verschmutzung.

#### 5.5.1.6 Offenporiger Asphalt - Betrachtung des Lärminderungspotenziales

##### Allgemeines

Für die Betrachtung der Lärmemissionen wird einerseits ein einlagiger offenporiger Asphalt mit Größtkorn 11 mm des Mischguttyps P2 (PA 11, P2) und andererseits ein zweilagiger

offenporiger Asphalt mit dem Größtkorn 8 mm der oberen Schicht und dem Größtkorn 16 mm der unteren Schicht des Mischguttyps P2 (DLPA 8/16, P2) herangezogen.

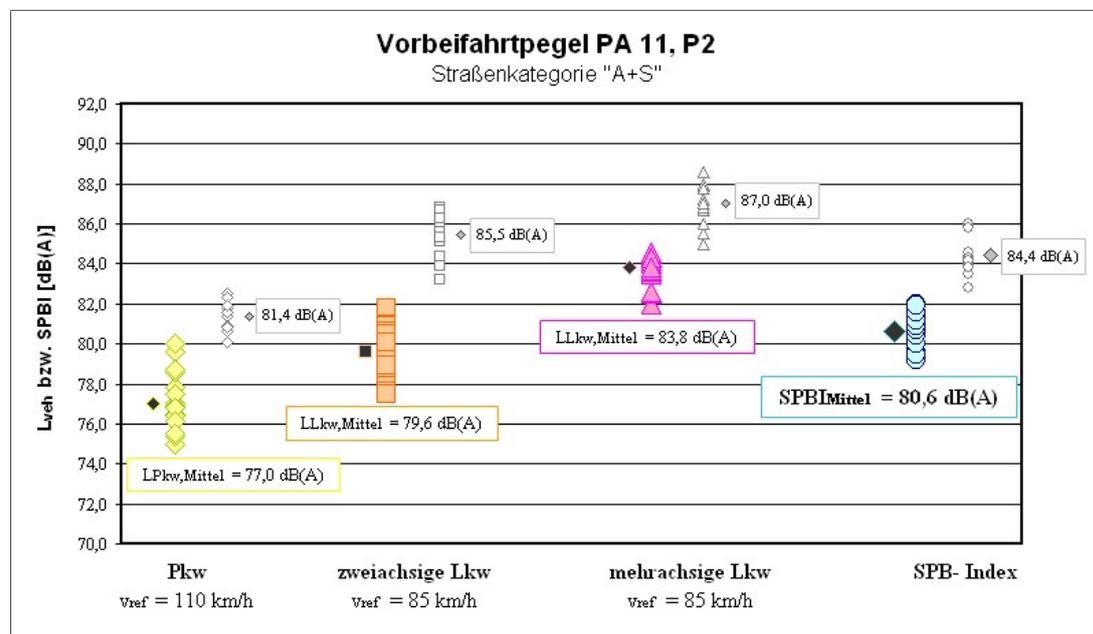
Dabei werden die in der Datenbank österreichischer Lärmmessungen [29] gesammelten Lärmessdaten, sowohl Ergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen als auch aus Rollgeräuschmessungen, analysiert und jeweils den Ergebnissen der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 gegenübergestellt.

### Lärmemissionen aus Vorbeifahrtmessungen

Bei der Analyse des Neuzustandes der beiden Fahrbahndeckschichttypen PA 11, P2 bzw. DLPA 8/16, P2 werden Messergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen herangezogen, die an Straßen der Straßenkategorie "A+S" durchgeführt wurden (für die anderen beiden Straßenkategorien "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" wären aufgrund der geringen Datenlage keine seriösen Analysen möglich).

Der Analyse der Vorbeifahrtmessungen werden somit als Referenzgeschwindigkeiten 110 km/h für die Fahrzeugkategorie "Pkw" und 85 km/h für die beiden Fahrzeugkategorien "einachsige Lkw" und "mehrachsige Lkw" zugrunde gelegt.

Abbildung 5.28 zeigt Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen der drei Fahrzeugkategorien an Autobahnen und Schnellstraßen und den zugehörigen SPB-Indices für den Fahrbahndeckschichttyp PA 11, P2. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (Messwerte bzw. SPB-Indices) der Abbildung 5.28 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



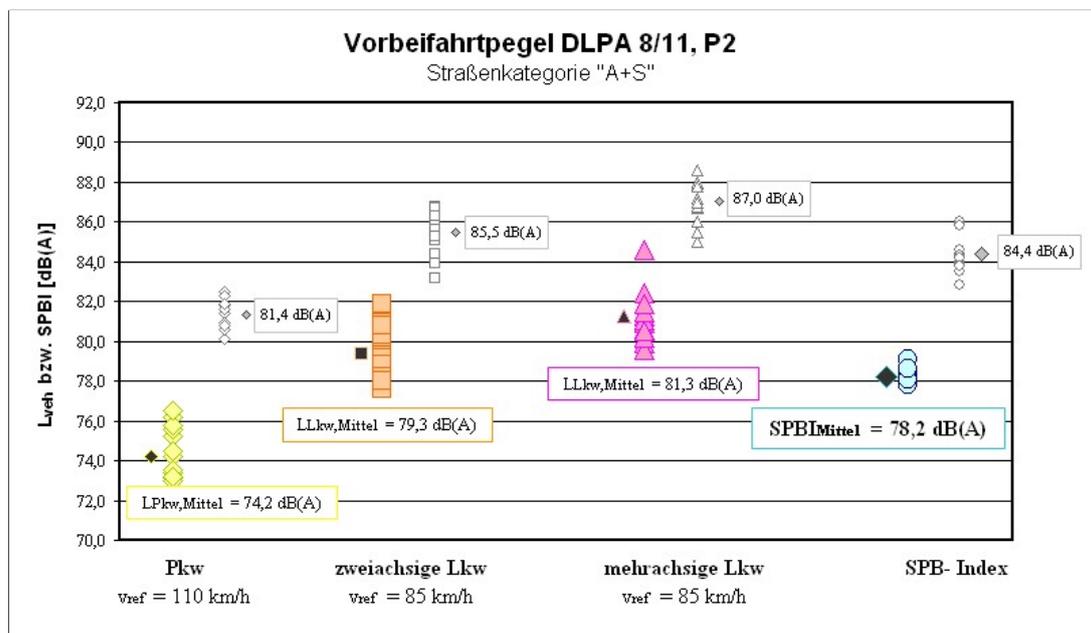
**Abbildung 5.28:** Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp PA 11, P2 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die durchgeführten Analysen ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren Vorbeifahrtindex von 80,6 dB(A). Bei der Betrachtung der einzelnen Fahrzeugkategorien ergibt sich für Pkw's ein mittlerer Vorbeifahrtpegel von 77,0 dB(A), für zweiachsige Lkw's

einer von 79,6 dB(A) und für mehrachsige Lkw's einer von 83,8 dB(A).

Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich für den SPB- Index eine Reduktion um ca. 4 dB(A). Das stärkste Lärminderungspotenzial lässt sich bei der Fahrzeugkategorie "zweiachsige Lkw" mit 5,9 dB(A) erkennen.

Abbildung 5.29 zeigt Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen der drei Fahrzeugkategorien an Autobahnen und Schnellstraßen und den zugehörigen SPB- Indices für den Fahrbahndeckschichttyp DLPA 8/16, P2. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (Messwerte bzw. SPB- Indices) der Abbildung 5.29 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



**Abbildung 5.29:** Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp DLPA 8/16, P2 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps DLPA 8/16, P2 ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren Vorbeifahrtindex von 78,2 dB(A). Bei der Betrachtung der einzelnen Fahrzeugkategorien ergibt sich für Pkw's ein mittlerer Vorbeifahrtpegel von 74,2 dB(A), für zweiachsige Lkw's einer von 79,3 dB(A) und für mehrachsige Lkw's einer von 81,3 dB(A). Hier zeigt sich im Vergleich zur einlagigen offenporigen Asphaltbauweise eine weitere Schallpegelverringerung um ca. 2-3 dB(A) bei allen drei Fahrzeugkategorien, wobei bei der Fahrzeugkategorie "Pkw" der stärkste Unterschied auftritt. Insgesamt ergibt sich im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht ein mittleres Lärminderungspotenzial im SPB- Index von 6,2 dB(A).

### Lärmmissionen aus Rollgeräuschmessungen

Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen werden einerseits zur Analyse des Neuzustandes und andererseits zur Analyse des akustischen Alterungsverhaltens der beiden Fahrbahndeckschichttypen PA 11, P2 bzw. DLPA 8/16, P2 herangezogen.

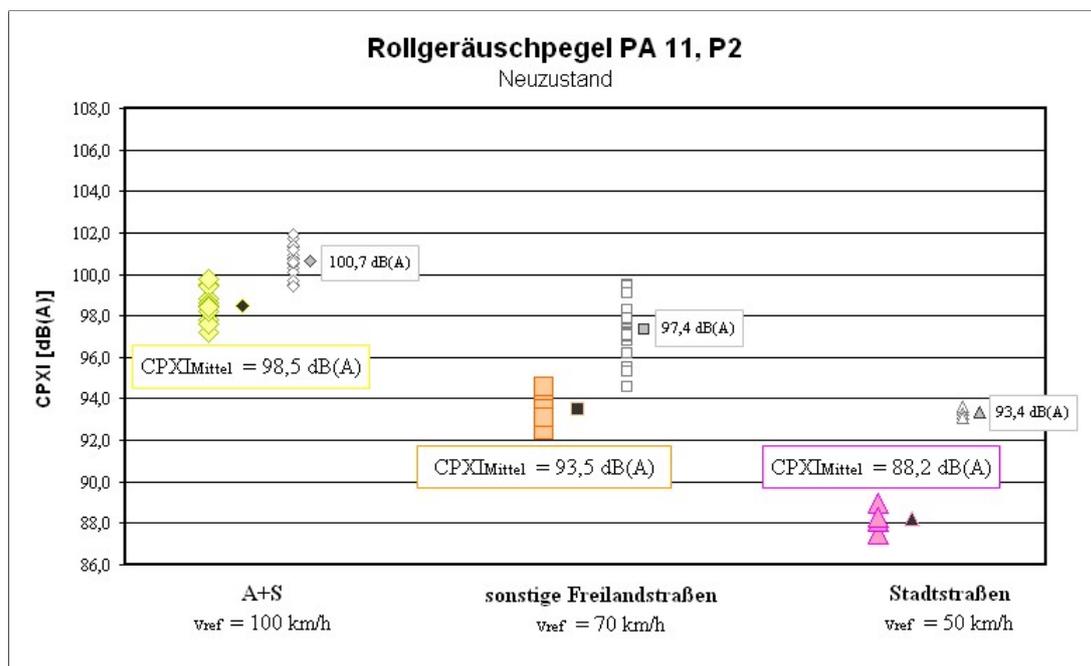
Als Grundlage zur akustischen Beurteilung dient der CPX- Index gem. ISO/CD 11819-2

[28] der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“.

Die im Folgenden gezeigten Messergebnisse und Analysen beziehen sich auf den Neuzustand der beiden Fahrbahndeckschichttypen PA 11, P2 bzw. DLPA 8/16, P2.

Der Analyse der Rollgeräuschmessungen werden für die Straßenkategorie “A+S“ als Referenzgeschwindigkeit 100 km/h, für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ 70 km/h und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ 50 km/h zugrunde gelegt.

Abbildung 5.30 zeigt Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs PA 11, P2 im Neuzustand an den drei untersuchten Straßenkategorien. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (CPX-Indices) der Abbildung 5.30 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



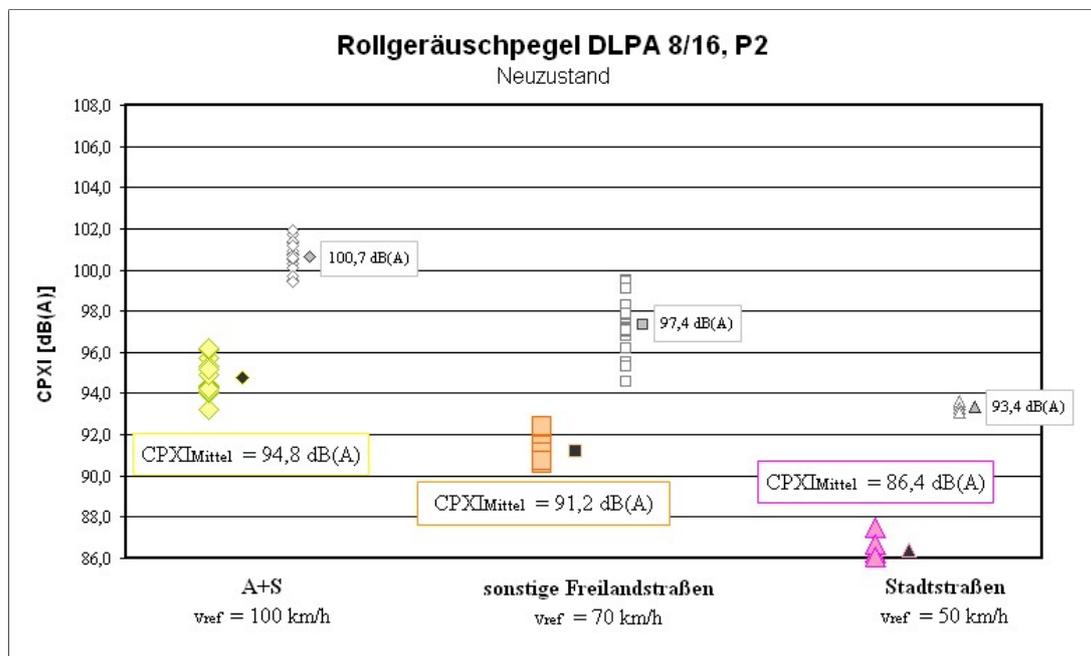
**Abbildung 5.30:** CPX-Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp PA 11, P2 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps PA 11, P2 ergeben für die Straßenkategorie “A+S“ einen mittleren CPX-Index von 98,5 dB(A), für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ einen von 93,5 dB(A) und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ einen von 88,2 dB(A). Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich somit ein Lärminderungspotenzial in den Rollgeräuschpegeln von ca. 2-5 dB(A), das ebenso wie beim Fahrbahndeckschichttyp AC 11 deck, A2 mit geringer werdender Messgeschwindigkeit zunimmt (für die Straßenkategorie “A+S“ ergibt sich eine Differenz im CPX-Index von 2,2 dB(A), während für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ diese Differenz bereits auf 5,2 dB(A) angewachsen ist).

Im Vergleich zum Fahrbahndeckschichttyp AC 11 deck, A2 ist das Lärminderungspotenzial für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ um ca. 1,0 dB(A) höher, was aus der absorbierenden Wirkung der offenporigen Fahrbahndeckschicht resultieren könnte.

Abbildung 5.31 zeigt Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten

des Typs DLPA 8/16, P2 im Neuzustand an den drei untersuchten Straßenkategorien. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (CPX- Indices) der Abbildung 5.31 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



**Abbildung 5.31:** CPX-Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp DLPA 8/16, P2 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps DLPA 8/16, P2 ergeben für die Straßenkategorie “A+S“ einen mittleren CPX- Index von 94,8 dB(A), für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ einen von 91,2 dB(A) und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ einen von 86,4 dB(A).

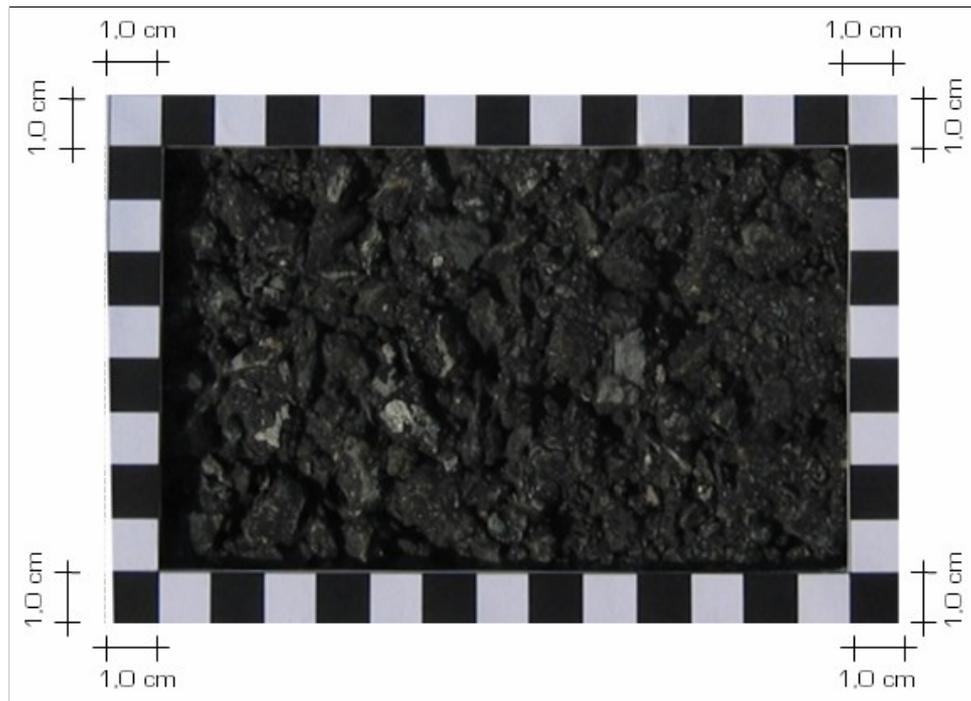
Im Vergleich mit der einlagigen offenporigen Asphaltbauweise zeigen sich für alle drei Straßenkategorien um ca. 2-3 dB(A) niedrigere CPX- Indices. Somit ergibt sich im Vergleich mit der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 ein mittleres Lärminderungspotenzial in den Rollgeräuschpegeln von ca. 6-7 dB(A).

## 5.5.2 Lärmindernder Splittmastixasphalt

### 5.5.2.1 Lärmindernder Splittmastixasphalt - Bauweise

Beim lärmindernden Splittmastixasphalt (SMA, S3) handelt es sich um eine Sonderform des herkömmlichen Splittmastixasphaltes (siehe Abschnitt 5.3.1 dieser Arbeit), der sich durch einen höheren Hohlraumgehalt als die Standardbauweise auszeichnet. Dieser Hohlraumgehalt entsteht durch eine Modifizierung der Kornzusammensetzung (Sieblinie). Allerdings weist der lärmindernde Splittmastixasphalt keine zusammenhängenden Hohlräume wie der offenporige Asphalt auf. Dadurch erfolgt die Entwässerung auch, wie bei dichten Fahrbahndeckschichttypen, an der Oberfläche.

Abbildung 5.32 zeigt ein typisches Oberflächenbild einer Fahrbahndeckschicht aus lärminderndem Splittmastixasphalt (mit Größtkorn 11 mm).



**Abbildung 5.32:** Oberfläche eines lärmindernden Splittmastixasphaltes mit Größtkorn 11 mm

Die Vorteile des lärmindernden Splittmastixasphaltes im Vergleich zum offenporigen Asphalt lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- lange Nutzungsdauer (hoher Splittanteil, hoher Bindemittelanteil, ...)
- Lärminderung (allerdings etwas geringer als bei PA)
- gutes Langzeitverhalten der Lärminderung
- hohe Verformungsbeständigkeit
- hohe Verschleissfestigkeit
- Rissicherheit bei Kälte und mechanischer Beanspruchung
- Reduzierung von Sprühhahnen (allerdings etwas geringer als bei PA)

Generell ist der lärmindernde Splittmastixasphalt in Bezug auf die Straßenerhaltung und den Straßendienst einfacher "handzuhaben" als offenporige Fahrbahndeckschichten. Im Vergleich zum offenporigen Asphalt treten einerseits kaum Probleme im Winterdienst auf und andererseits ist keine Reinigung der Fahrbahndeckschicht notwendig.

Allerdings ergeben sich beim lärmindernden Splittmastixasphalt einige Nachteile im Vergleich zur konventionellen Splittmastixasphaltbauweise:

- höhere Neigung zu Kornverlusten als SMA konventionell und Asphaltbeton
- etwas höherer Salzverbrauch als SMA konventionell und Asphaltbeton
- konventioneller Winterdienst mit leicht erhöhtem Aufwand

#### 5.5.2.2 Lärmindernder Splittmastixasphalt - Anforderungen bei der Erstprüfung

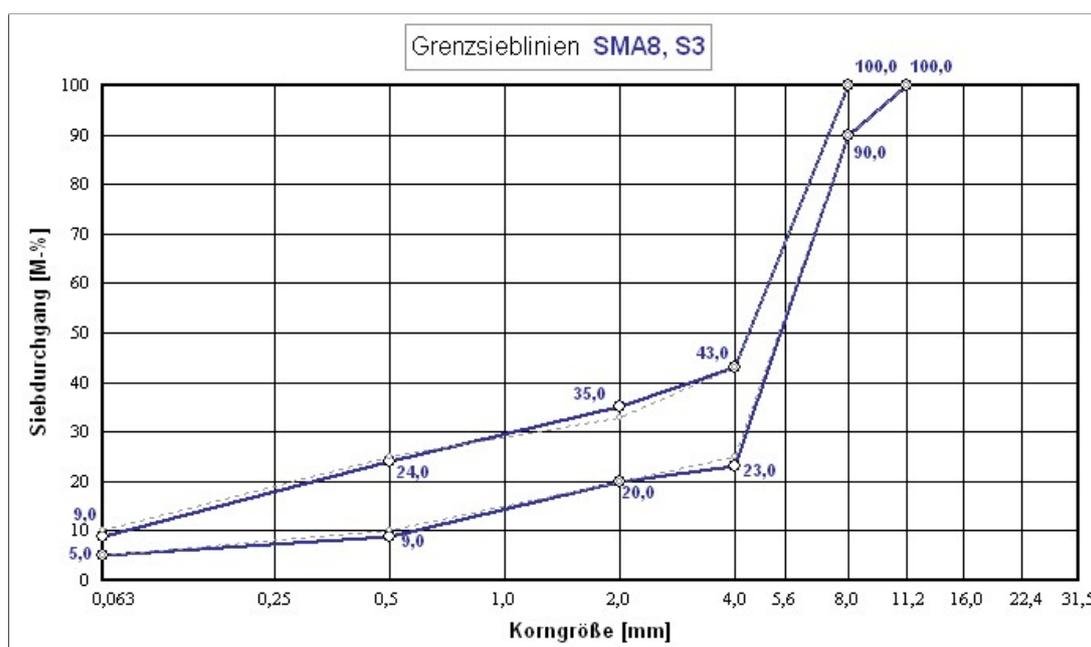
Der Nachweis der Eignung einer Fahrbahndeckschicht wird vom Auftragnehmer in Form einer CE-Kennzeichnung des Produktes in Verbindung mit dem korrespondierenden Erstprüfungsbericht erbracht. Für den lärmindernden Splittmastixasphalt (SMA, S3) sind die

Anforderungen an das Asphaltmischgut bei der Erstprüfung in den österreichischen Normen ÖNORM B 3584-1 (empirischer Ansatz) [104] bzw. in der ÖNORM B 3584-2 (gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen) [90] geregelt. Gemäß den Richtlinien RVS 08.97.05 [92] und RVS 08.16.01 [85] ist das Asphaltmischgut für lärm mindernden Splittmastixasphalt nach ÖNORM B 3584-1 herzustellen. Beim lärm mindernden Splittmastixasphalt des Mischguttyps S3 werden die beiden Größtkorndurchmesser von 8 mm und 11 mm unterschieden. Die Anforderungen an die Sieblinien des lärm mindernden Splittmastixasphaltes bei der Erstprüfung sind in Tabelle 5.23 aufgelistet bzw in Abbildung 5.33 für den SMA 8, S3 (in blauer Farbe) und in Abbildung 5.34 für den SMA 11, S3 (in roter Farbe) dargestellt.

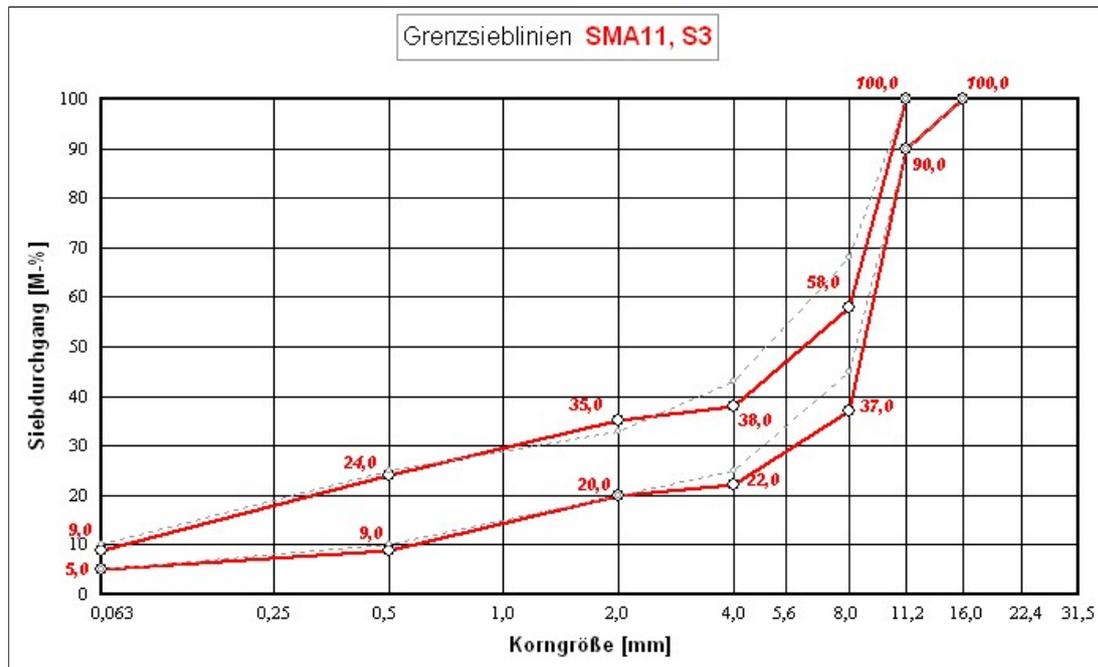
**Tabelle 5.23:** Anforderungen an die Sieblinien des lärm mindernden Splittmastixasphaltes bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [104])

SIEBGRÖSSE [MM]	MISCHGUTTYP	
	SMA 8, S3	SMA 11, S3
16,0		100
11,2	100	90 bis 100
8,0	90 bis 100	37 bis 58
5,6	–	–
4,0	23 bis 43	22 bis 38
2,0	20 bis 35	20 bis 35
1,0	anzugeben	anzugeben
0,5	9 bis 24	9 bis 24
0,25	anzugeben	anzugeben
0,063	5 bis 9	5 bis 9

Die anzugebende max. Bandbreite beträgt 12,0 M.-% (bis auf die Siebgröße 0,063 mm mit 4,0 M.-%).



**Abbildung 5.33:** Grenzsieblinien für den lärm mindernden Splittmastixasphalt SMA 8, S3 (nach ÖNORM B 3584-1 [104]), SMA 8, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt



**Abbildung 5.34:** Grenzsieblinien für den lärmindernden Splittmastixasphalt SMA 11, S3 (nach ÖNORM B 3584-1 [104]), SMA 11, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt

Die Anforderungen an die Gesteinskörnungen sind in den Tabellen 2 und 3 der ÖNORM B 3584-1 (siehe [104]) aufgelistet. Für den lärmindernden Splittmastixasphalt werden die Gesteinsklassen G1, G2 und G3 empfohlen. Somit wird für den Widerstand gegen Zertrümmerung ein LA-Wert gem. ÖNORM EN 1097-2 [105] von maximal 20 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein LA-Wert von maximal 25 für die Gesteinskategorien G2 und G3 gefordert, für den Widerstand gegen Polieren ein PSV-Wert gem. ÖNORM EN 1097-8 [106] von minimal 50 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein PSV-Wert von minimal 44 für die Gesteinskategorie G2 (für die Gesteinskategorie G3 ist der PSV-Wert anzugeben).

Als Bindemittel sind einerseits die Straßenbaubitumen 50/70 und 70/100 gem. ÖNORM EN 12591 [107] und andererseits die modifizierten Bitumen PmB 25/55-65, PmB 25/55-55, PmB 45/80-65 und PmB 45/80-50 gem. ÖNORM B 3613 [108] zugelassen. Bei Verwendung von Straßenbaubitumen wird die Verwendung von Zusätzen empfohlen.

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut von lärminderndem Splittmastixasphalt sind auszugsweise in Tabelle 5.24 zusammengefasst.

**Tabelle 5.24:** Anforderungen an das Asphaltmischgut von lärminderndem Splittmastixasphalt bei der Erstprüfung (Details siehe [104])

EIGENSCHAFT	MISCHGUTTYP	
	SMA 8, S3	SMA 11, S3
Bindemittelgehalt in [M.-%]	≥ 5,4	≥ 5,2
Hohlraumgehalt in [Vol.-%]	6,0 bis 12,0	6,0 bis 12,0
prop. Spurrinntiefe	≤ 5,0 %	
Bindemittelablauf	≤ 0,6 %	

Die Nachweise sind jeweils gem. ÖNORM EN 13108-20 [84] zu erbringen. Die anzugebende max. Bandbreite beträgt für den Bindemittelgehalt 0,6 M.-% und für den Hohlraumgehalt

2,0 Vol.-%.

Die Kennzeichnung des lärmindernden Splittmastixasphaltes erfolgt nach dem folgenden Schema:

Größtkorn "D" Bindemittelsorte, S3, Gesteinsklasse, eventuelle Zusatzbezeichnungen (verwendete Zusätze, Identifikationsnummern)

Beispielhaft könnte somit ein lärmindernder Splittmastixasphalt folgendermaßen gekennzeichnet sein:

SMA 11 PmB 45/80-65, S3, G1

### 5.5.2.3 *Lärmindernder Splittmastixasphalt - Anforderungen bei der Abnahmeprüfung*

#### *Lärmindernder Splittmastixasphalt - Anforderungen an das Asphaltmischgut*

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut für den lärmindernden Splittmastixasphalt sind in der RVS 08.97.05 [92] geregelt. Die Details der Anforderungen an die Parameter und deren Bandbreiten sind in den Tabellen 3, 4 und 5 der RVS 08.97.05 aufgelistet.

#### *Lärmindernder Splittmastixasphalt - Anforderungen an die fertige Schicht*

Die Anforderungen an die Asphalttschicht und an die Fahrbahnoberfläche für lärmindernden Splittmastixasphalt sind in der RVS 08.16.01 [85] geregelt.

Der Zusammenhang zwischen der Schichtdicke der Fahrbahndeckschicht lärmindernder Splittmastixasphalt und dem Größtkorn in der Mischgutzusammensetzung ist in Tabelle 5.25 angegeben.

**Tabelle 5.25:** Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn beim lärmindernden Splittmastixasphalt [85]

	GRÖSSTKORN [MM]	
	8	11
SCHICHTDICKE [CM]	2,5 bis 3,5	3,0 bis 4,0

Die Anforderungen an die Asphalttschicht aus lärminderndem Splittmastixasphalt sind in Tabelle 5.26 zusammengefasst.

Die Berechnung des Verdichtungsgrades erfolgt durch Division der Raumdichte der Schicht durch die Raumdichte des Marschall-Prüfkörpers der Abnahmeprüfung.

Bei einem einvernehmlich festgelegten händischen Einbau können die Grenzwerte für den Verdichtungsgrad um 5% herabgesetzt werden.

Der Schichtverbund ist bei Solldicken  $\geq 3$  cm mittels Schubfestigkeit und bei Solldicken  $< 3$  cm mittels Haftzugfestigkeit zu prüfen.

**Tabelle 5.26:** Anforderungen an die Asphaltenschicht von lärminderndem Splittmastixasphalt bei der Abnahmeprüfung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Schichtdicke <sup>(1)</sup> [mm]	ÖNORMEN 12697-36 [109]	≥ SD -15%	< SD -15% bis -40%	< SD -40%
Verdichtungsgrad [%]	ÖNORMEN 12697-8 [110]	≥ 98	97 bis 94	< 94
Schubfestigkeit <sup>(2)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-1 [111]	≥ 0,8	0,7 bis 0,3	< 0,3
Schubfestigkeit <sup>(3)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-1 [111]	≥ 1,2	1,1 bis 0,6	< 0,6
Haftzugfestigkeit <sup>(2)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-2 [112]	≥ 1,0	0,9 bis 0,4	< 0,4
Haftzugfestigkeit <sup>(3)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORMB 3639-2 [112]	≥ 1,5	1,4 bis 0,8	< 0,8
(1) Die Solldicke SD ist in der Ausschreibung festgelegt.				
(2) bei Verwendung von Straßenbaubitumen				
(3) bei Verwendung von polymermodifiziertem Bitumen				

Die Anforderungen an den Hohlraumgehalt von lärminderndem Splittmastixasphalt sind in Abhängigkeit des Größtkorndurchmessers  $D = 8 \text{ mm}$  und  $D = 11 \text{ mm}$  in Tabelle 5.27 dargestellt.

Die Bestimmung des Hohlraumgehaltes erfolgt dabei gem. ÖNORMEN 12697-8 [110].

Die Bestimmung der Raumdichte zur Ermittlung des Hohlraumgehaltes erfolgt gem. ÖNORM 12697-6 [122] mit dem Ausmessverfahren.

**Tabelle 5.27:** Anforderungen an den Hohlraumgehalt von lärminderndem Splittmastixasphalt (nach [85])

MISCHGUTTYP	HOHLRAUMGEHALT [VOL.-%]		
	Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
SMA 8, S3	6,0 bis 12,0	12,1 bis 16,0	> 16,0
SMA 11, S3			

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von lärminderndem Splittmastixasphalt nach Fertigstellung sind in Tabelle 5.28 zusammengefasst.

**Tabelle 5.28:** Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Splittmastixasphalt nach Fertigstellung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Ebenheit [mm/4 m]	RVS 11.06.62 [113]	$\leq 4$	5 bis 12	$> 12$
Textur (Rautiefe) [mm]	ÖNORMEN 13036-1 [80]	$\geq 0,4$	–	$< 0,4$
Griffigkeit <sup>(1)</sup> [ $\mu$ ]	RVS 11.06.65 [97]	$\mu \geq 0,62^{(2)}$	$0,59 > \mu \geq 0,52$	$\mu < 0,52$
Rollgeräusch <sup>(3)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 100$	–	$> 100$
Rollgeräusch <sup>(4)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 96$	–	$> 96$
Rollgeräusch <sup>(5)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 87$	–	$> 87$
<sup>(1)</sup> bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h				
<sup>(2)</sup> Sollwert - Messtoleranz (= 0,03) = Grenzwert für die Berechnung des Qualitätsabzuges				
<sup>(3)</sup> bei einer Messgeschwindigkeit von 100 km/h für Bundesstraßen A+S				
<sup>(4)</sup> bei einer Messgeschwindigkeit von 80 km/h für Bundesstraßen A+S bzw. Landesstraßen B+L				
<sup>(5)</sup> bei einer Messgeschwindigkeit von 50 km/h für Landesstraßen B+L im Ortsgebiet				

Bei Bauloslängen unter 500 m kann der Auftraggeber auf die Messungen gem. RVS 11.06.65 mit dem System RoadSTAR verzichten und eine kombinierte Messung mit dem SRT- Pendel und dem Ausflusszylinder durchführen.

#### 5.5.2.4 Lärmindernder Splittmastixasphalt - Gewährleistung

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften (Spurrinntiefe, Risse und Griffigkeit) vor dem Ablauf der Gewährleistungsfrist für lärmindernden Splittmastixasphalt sind in Tabelle 14 der RVS 08.16.01 [85] geregelt (siehe auch Abschnitt 5.2.2.1 dieser Arbeit - Nachweise vor Ablauf der Gewährleistungsfrist).

#### 5.5.2.5 Lärmindernder Splittmastixasphalt - Betrachtung des Lärminderungspotenziales

##### Allgemeines

Für die Betrachtung der Lärmemissionen wird einerseits ein lärmindernder Splittmastixasphalt mit Größtkorn 8 mm des Mischguttyps S3 (SMA 8, S3) und andererseits ein lärmindernder Splittmastixasphalt mit Größtkorn 11 mm des Mischguttyps S3 (SMA 11, S3) herangezogen. Dabei werden die in der Datenbank österreichischer Lärmessungen [29] gesammelten Lärmessdaten, sowohl Ergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen als auch aus

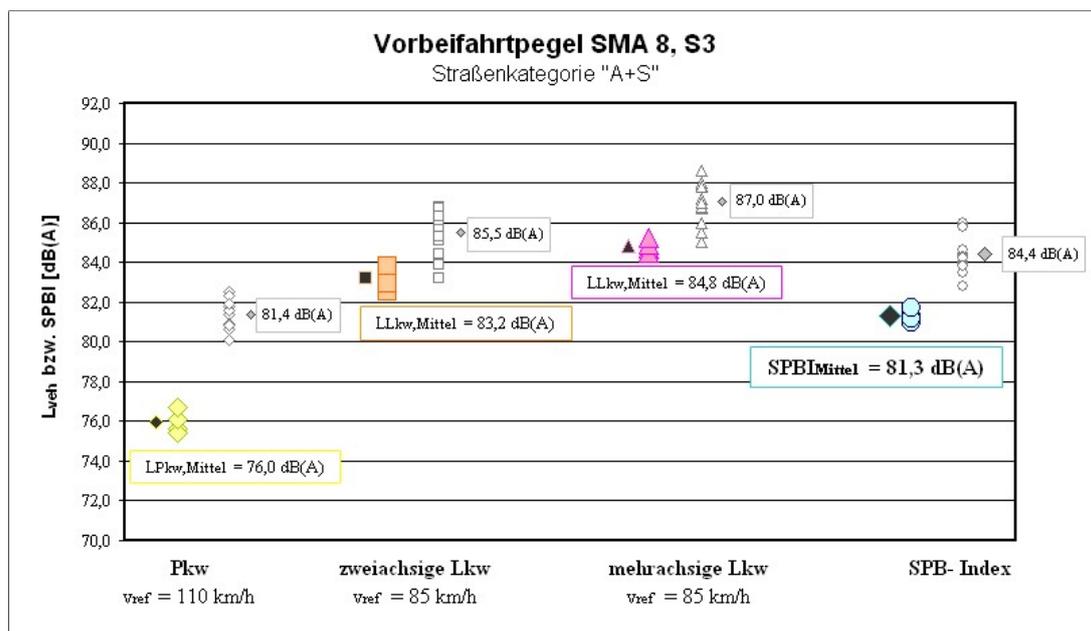
Rollgeräuschmessungen, analysiert und jeweils den Ergebnissen der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 gegenübergestellt.

### Lärmemissionen aus Vorbeifahrtmessungen

Bei der Analyse des Neuzustandes der beiden Fahrbahndeckschichttypen SMA 8, S3 bzw. SMA 11, S3 werden Messergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen herangezogen, die an Straßen der Straßenkategorie "A+S" durchgeführt wurden (für die anderen beiden Straßenkategorien "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" wären aufgrund der geringen Datenlage keine seriösen Analysen möglich).

Der Analyse der Vorbeifahrtmessungen werden somit als Referenzgeschwindigkeiten 110 km/h für die Fahrzeugkategorie "Pkw" und 85 km/h für die beiden Fahrzeugkategorien "zweiachsige Lkw" und "mehrachsig Lkw" zugrunde gelegt.

Abbildung 5.35 zeigt Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen der drei Fahrzeugkategorien an Autobahnen und Schnellstraßen und den zugehörigen SPB-Indices für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (Messwerte bzw. SPB-Indices) der Abbildung 5.35 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



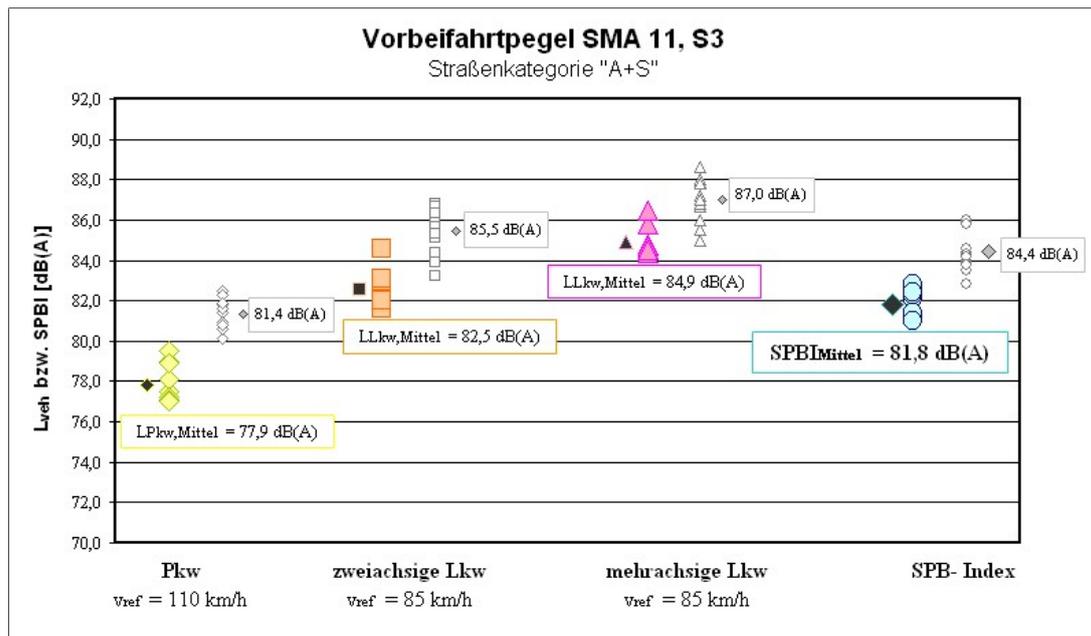
**Abbildung 5.35:** Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die durchgeführten Analysen ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren Vorbeifahrtindex von 81,3 dB(A). Bei der Betrachtung der einzelnen Fahrzeugkategorien ergibt sich für Pkw's ein mittlerer Vorbeifahrtpegel von 76,0 dB(A), für zweiachsige Lkw's einer von 83,2 dB(A) und für mehrachsige Lkw's einer von 84,8 dB(A).

Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich für den SPB-Index eine Reduktion um ca. 3,0 dB(A). Auffallend ist das unterschiedliche Lärminderungspotenzial der Fahrzeugkategorien "Pkw" mit 5,4 dB(A), das ähnlich dem des einlagigen offenporigen

Asphaltes ist, und der beiden Lkw-Fahrzeugkategorien mit ca. 2,0 dB(A). Der Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3 scheint somit als lärmindernde Fahrbahndeckschicht an Straßen mit geringem Schwerverkehrsanteil besonders geeignet.

Abbildung 5.36 zeigt Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen der drei Fahrzeugkategorien an Autobahnen und Schnellstraßen und den zugehörigen SPB-Indices für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S3. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (Messwerte bzw. SPB-Indices) der Abbildung 5.36 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



**Abbildung 5.36:** Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S3 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S3 ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren Vorbeifahrtindex von 81,8 dB(A). Bei der Betrachtung der einzelnen Fahrzeugkategorien ergibt sich für Pkw's ein mittlerer Vorbeifahrtpegel von 77,9 dB(A), für zweiachsige Lkw's einer von 82,5 dB(A) und für mehrachsige Lkw's einer von 84,9 dB(A). Der lärmindernde Splittmastixasphalt mit Größtkorn 11 mm zeigt im direkten Vergleich mit dem mit Größtkorn 8 mm bei den beiden Fahrzeugkategorien "zweiachsige Lkw" und "mehrachsige Lkw" ein ähnliches Lärminderungspotenzial wie jener mit Größtkorn 8 mm, allerdings weist er bei Pkw-Vorbeifahrten um ca. 2,0 dB(A) höhere Pegelwerte auf. Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht zeigt der SMA 11, S3 ein mittleres Lärminderungspotenzial im SPB-Index von 2,6 dB(A).

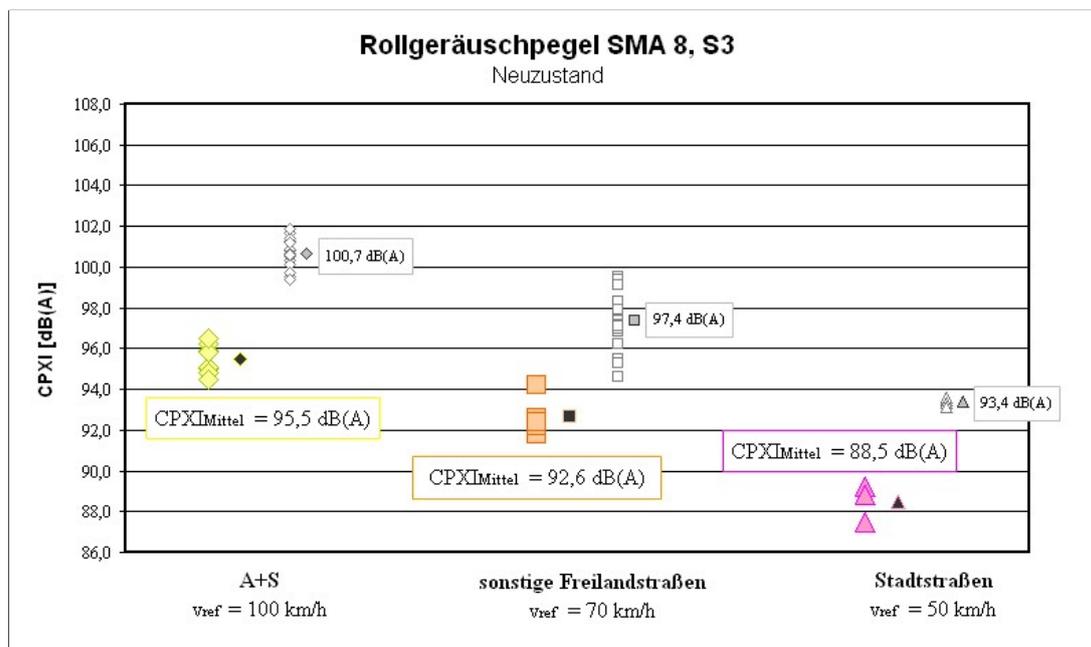
### Lärmemissionen aus Rollgeräuschmessungen

Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen werden einerseits zur Analyse des Neuzustandes und andererseits zur Analyse des akustischen Alterungsverhaltens der beiden Fahrbahndeckschichttypen SMA 8, S3 bzw. SMA 11, S3 herangezogen. Als Grundlage zur akustischen Beurteilung dient der CPX-Index gem. ISO/CD 11819-2 [28] der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen".

Die im Folgenden gezeigten Messergebnisse und Analysen beziehen sich auf den Neuzustand der beiden Fahrbahndeckschichttypen SMA 8, S3 bzw. SMA 11, S3.

Der Analyse der Rollgeräuschmessungen werden für die Straßenkategorie "A+S" als Referenzgeschwindigkeit 100 km/h, für die Straßenkategorie "sonstige Freilandstraßen" 70 km/h und für die Straßenkategorie "Stadtstraßen" 50 km/h zugrunde gelegt.

Abbildung 5.37 zeigt Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs SMA 8, S3 im Neuzustand an den drei untersuchten Straßenkategorien. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (CPX- Indices) der Abbildung 5.37 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



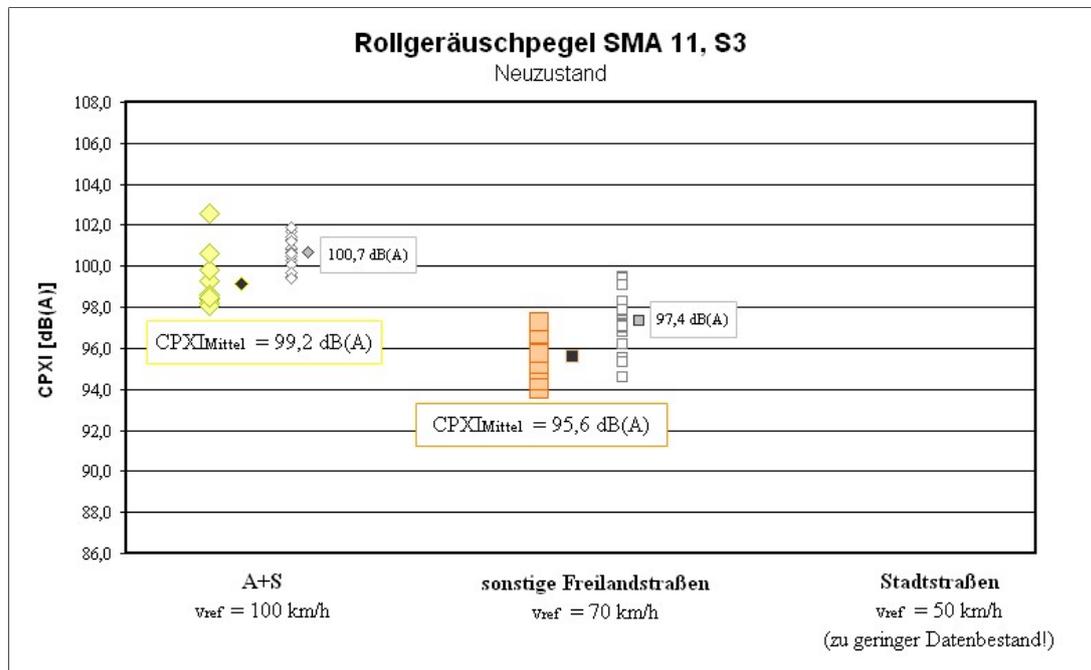
**Abbildung 5.37:** CPX-Index der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps SMA 8, S3 ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren CPX-Index von 95,5 dB(A), für die Straßenkategorie "sonstige Freilandstraßen" einen von 92,6 dB(A) und für die Straßenkategorie "Stadtstraßen" einen von 88,5 dB(A). Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich für alle drei Straßenkategorien ein ähnliches Lärminderungspotenzial von ca. 5,0 dB(A).

Abbildung 5.38 zeigt Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs SMA 11, S3 im Neuzustand an den beiden Straßenkategorien "A+S" und "sonstige Freilandstraßen" (für die Straßenkategorie "Stadtstraßen" standen keine ausreichenden Messergebnisse zur Verfügung). Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (CPX-Indices) der Abbildung 5.38 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S3 ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren CPX-Index von 99,2 dB(A) und für die Straßenkategorie "sonstige Freilandstraßen" einen von 95,6 dB(A). Im Vergleich zum Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3 zeigen sich beim SMA 11, S3 ungefähr 4,0 dB(A) lautere Rollgeräuschpegel (an beiden

untersuchten Straßenkategorien). Der Vergleich mit der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt ein mittleres Lärminderungspotenzial in den Rollgeräuschpegeln von ca. 1,5- 2,0 dB(A).



**Abbildung 5.38:** CPX-Index der beiden Straßenkategorien “A+S“ und “sonstige Freilandstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S3 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

### 5.5.3 Lärmindernde Dünnschichtdecke

#### 5.5.3.1 Lärmindernde Dünnschichtdecke - Bauweise

Eine lärmindernde Dünnschichtdecke ist gem. [87] als Asphalt mit einer diskontinuierlichen Korngrößenverteilung (Ausfallkörnung) und einem Mindestgehalt an zusammenhängenden Hohlräumen im verdichteten Zustand definiert, wodurch dieses Mischgut eine gewisse schallabsorbierende Wirkung besitzt.

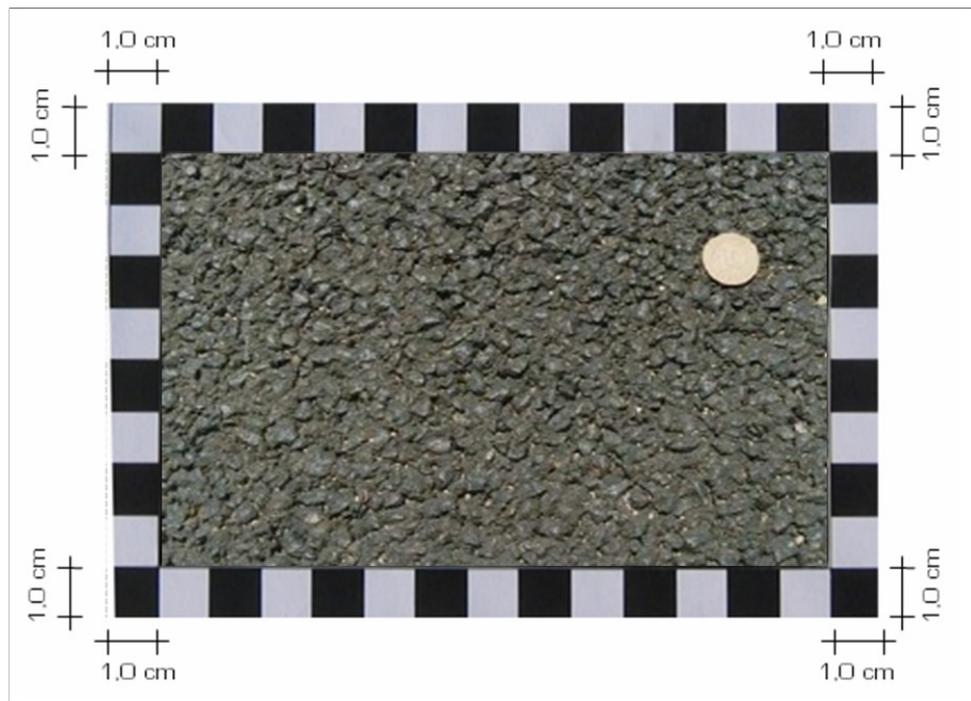
Generell werden Fahrbahndeckschichten als Dünnschichtdecke bezeichnet, wenn sie eine Dicke von maximal 2,5 cm aufweisen.

Dünnschichtdecken sind dünne Asphaltsschichten, die im Zuge von Erhaltungsmaßnahmen auf Beton und Asphaltunterlagen eingebaut werden. Sie dienen der Erhöhung der Griffigkeit, der Versiegelung ausgemagerter Schichten und der Wiederherstellung einer ausreichenden Längs- bzw. Querebenheit. Aufgrund der geringen Schichtdicke wird das Gesteinsgerüst nur mit Größtkorn 5 mm und 8 mm ausgebildet. Weiters ist Gestein von hoher Kantenfestigkeit und als Bitumen ein polymermodifiziertes Bindemittel vonnöten [103].

In Abhängigkeit vom Bauprinzip (dicht oder offenporig) spielt sowohl die Oberflächentextur als auch der Hohlraumgehalt eine bestimmte Rolle für die lärmindernde Wirkung dieses Fahrbahndeckschichttyps. Bei dichten Fahrbahndeckschichten wird versucht, einen möglichst geringen Profilsitzenabstand einzuhalten, damit die Reifenschwingungen verringert werden können.

Die offenporigen Dünnschichtdecken sollen durch eine hohlraumreiche Struktur Profilresonanzen und Air-Pumping-Effekte vermindern. Die Erhöhung des Hohlraumgehaltes wird dabei durch eine Erhöhung des Grobsplittanteils auf etwa 60 M-% und durch eine gleichzeitige Verringerung der Feinsplitt- und Sandanteile erreicht. In Verbindung damit zeigt die Oberfläche eine gleichmäßig körnige Struktur ohne Feinanteile [75].

Abbildung 5.39 zeigt ein typisches Oberflächenbild einer Fahrbahndeckschicht als lärm-mindernde Dünnschichtdecke (mit Größtkorn 8 mm).



**Abbildung 5.39:** Oberfläche einer lärm-mindernden Dünnschichtdecke mit Größtkorn 8 mm

Auf Grund der kleinen und rasch verstopften Poren wird bei der lärm-mindernden Dünnschichtdecke nur eine geringe Absorptionswirkung erwartet. Die Entwässerung des Oberflächenwassers erfolgt bei lärm-mindernden Dünnschichtdecken, wie bei dichten Fahrbahndeckschichten, an der Oberfläche.

### 5.5.3.2 Lärm-mindernde Dünnschichtdecke - Anforderungen bei der Erstprüfung

Der Nachweis der Eignung einer Fahrbahndeckschicht wird vom Auftragnehmer in Form einer CE-Kennzeichnung des Produktes in Verbindung mit dem korrespondierenden Erstprüfungsbericht erbracht. Für lärm-mindernde Dünnschichtdecken sind die Anforderungen an das Asphaltmischgut bei der Erstprüfung in der österreichischen Norm ÖNORM B 3581 [123] geregelt.

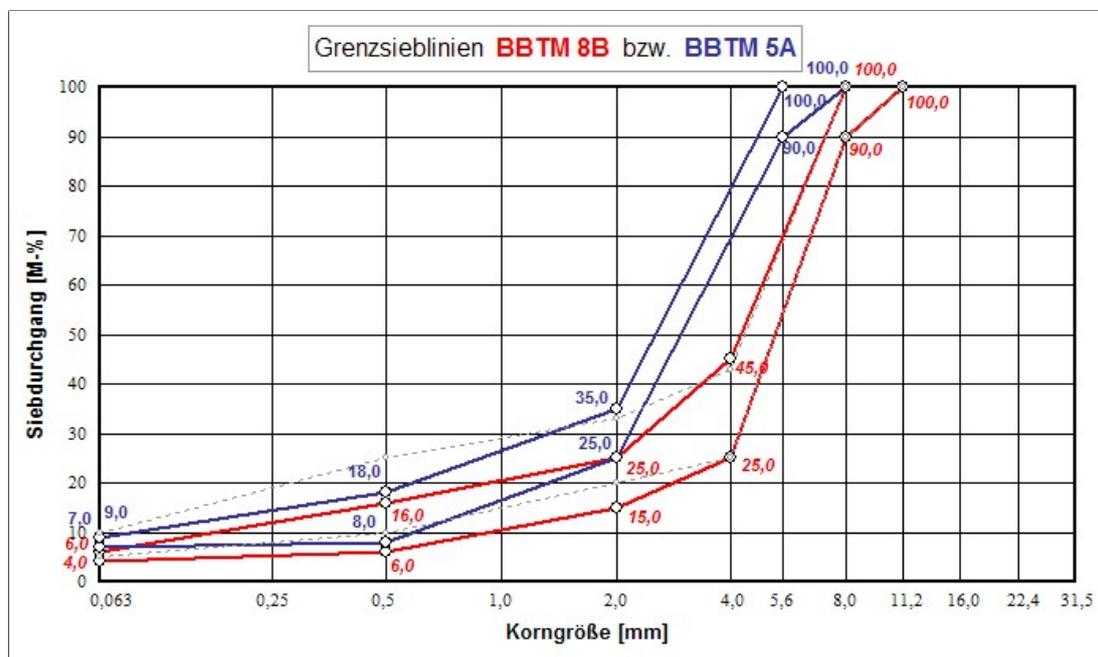
Demnach wird bei der lärm-mindernden Dünnschichtdecke zwischen den zwei Mischguttypen BBTM 5A und BBTM 8B mit einem Größtkorn von 8 mm bzw. 11 mm unterschieden. Die Anforderungen an die Sieblinien der beiden Mischguttypen an die Erstprüfung sind in Tabelle 5.29 aufgelistet.

**Tabelle 5.29:** Anforderungen an die Sieblinien von lärm mindernden Dünnschichtdecken bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [123])

SIEBGRÖSSE [MM]	MISCHGUTTYP	
	BBTM 5A	BBTM 8B
16,0		
11,2		100
8,0	100	90 bis 100
5,6	90 bis 100	–
4,0	–	25 bis 45
2,0	25 bis 35	15 bis 25
1,0	anzugeben	anzugeben
0,5	8 bis 18	6 bis 16
0,25	anzugeben	anzugeben
0,063	7 bis 9	4 bis 6

Die anzugebende max. Bandbreite beträgt 12,0 M.-% (bis auf die Siebgröße 0,063 mm mit 4,0 M.-%).

In Abbildung 5.40 sind die Grenzsieblinien der beiden Mischguttypen BBTM 8B (in roter Farbe) und BBTM 5A (in blauer Farbe) dargestellt (ergänzt durch die Grenzsieblinien der Fahrbahndeckschicht SMA 8, S2 in grauer strichlierter Farbe).

**Abbildung 5.40:** Grenzsieblinien für die lärm mindernden Dünnschichtdecken BBTM 5A und BBTM 8B (nach ÖNORM B 3581 [123]), SMA 8, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt

Die Anforderungen an die Gesteinskörnungen sind in den Tabellen 2 und 3 der ÖNORM B 3581 (siehe [123]) aufgelistet. Für die lärm mindernde Dünnschichtdecke werden die Gesteinsklassen G1 und G2 empfohlen. Somit wird für den Widerstand gegen Zerkümmern ein LA-Wert gem. ÖNORM EN 1097-2 [105] von maximal 20 für die Gesteinskategorie G1 bzw. ein LA-Wert von maximal 25 für die Gesteinskategorie G2 gefordert, für den

Widerstand gegen Polieren ein PSV-Wert gem. ÖNORMEN 1097-8 [106] von minimal 50 für die Gesteinsklasse G1 bzw. ein PSV-Wert von minimal 44 für die Gesteinsklasse G2. Als Bindemittel sind die modifizierten Bindemittel PmB 45/80-65, PmB 45/80-50 und PmB 90/150-45 gem. ÖNORM B 3613 [108] zugelassen. Die Verwendung von Ausbauasphalt ist nicht zulässig.

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut von lärmindernden Dünnenschichtdecken sind auszugsweise in Tabelle 5.30 zusammengefasst.

**Tabelle 5.30:** Anforderungen an das Asphaltmischgut von lärmindernden Dünnenschichtdecken bei der Erstprüfung (Details siehe [123])

EIGENSCHAFT	MISCHGUTTYP	
	BBTM 5A	BBTM 8B
Bindemittelgehalt in [M.-%]	≤ 5,4	≤ 5,2
Hohlraumgehalt in [Vol.-%]	11,0 bis 15,0	

Die Nachweise sind jeweils gem. ÖNORMEN 13108-20 [84] zu erbringen. Die anzugebende max. Bandbreite beträgt für den Bindemittelgehalt 0,6 M.-% und für den Hohlraumgehalt 4,0 Vol.-%.

Die Kennzeichnung einer lärmindernden Dünnenschichtdecke erfolgt nach dem folgenden Schema:

Größtkorn “D“ Mischguttyp Bindemittelsorte, Gesteinsklasse, eventuelle Zusatzbezeichnungen (verwendete Zusätze, Identifikationsnummern)

Beispielhaft könnte somit eine lärmindernde Dünnenschichtdecke folgendermaßen gekennzeichnet sein:

BBTM 8B PmB 45/80-65, G1

### 5.5.3.3 Lärmindernde Dünnenschichtdecke - Anforderungen bei der Abnahmeprüfung

#### *Lärmindernde Dünnenschichtdecke - Anforderungen an das Asphaltmischgut*

Die Anforderungen an das Asphaltmischgut für lärmindernde Dünnenschichtdecken sind in der RVS 08.97.05 [92] geregelt. Die Details der Anforderungen an die Parameter und deren Bandbreiten sind in den Tabellen 3, 4 und 5 der RVS 08.97.05 aufgelistet.

#### *Lärmindernde Dünnenschichtdecke - Anforderungen an die fertige Schicht*

Die Anforderungen an die Asphaltdecke und an die Fahrbahnoberfläche für lärmindernde Dünnenschichtdecken sind in der RVS 08.16.01 [85] geregelt.

Der Zusammenhang zwischen der Schichtdicke der Fahrbahndeckschicht lärmindernde Dünnenschichtdecke und dem Größtkorn in der Mischgutzusammensetzung ist in Tabelle 5.31 angegeben.

**Tabelle 5.31:** Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn für lärmindernde Dünnschichtdecken [85]

	GRÖSSTKORN [MM]	
	5	8
SCHICHTDICKE [CM]	1,5 bis 2,5	2,0 bis 2,5

Die Anforderungen an die Asphaltenschicht von lärmindernden Dünnschichtdecken sind in Tabelle 5.32 zusammengefasst. Die Berechnung des Verdichtungsgrades erfolgt durch Division der Raumdichte der Schicht durch die Raumdichte des Marshall-Prüfkörpers der Abnahmeprüfung. Bei einem einvernehmlich festgelegten händischen Einbau können die Grenzwerte für den Verdichtungsgrad um 5% herabgesetzt werden. Der Schichtverbund ist bei lärmindernden Dünnschichtdecken mittels Haftzugfestigkeit zu prüfen.

**Tabelle 5.32:** Anforderungen an die Asphaltenschicht von lärmindernden Dünnschichtdecken bei der Abnahmeprüfung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Schichtdicke <sup>(1)</sup> [mm]	ÖNORMEN 12697-36 [109]	$\geq SD -20\%$	$< SD -20\%$ bis $-40\%$	$< SD -40\%$
Verdichtungsgrad [%]	ÖNORMEN 12697-8 [110]	$\geq 98$	97 bis 94	$< 94$
Schubfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORM B 3639-1 [111]	–	–	–
Haftzugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORM B 3639-2 [112]	$\geq 1,5$	1,4 bis 0,8	$< 0,8$

<sup>(1)</sup> Die Sollstärke SD ist in der Ausschreibung festgelegt.

Die Anforderungen an den Hohlraumgehalt von lärmindernden Dünnschichtdecken sind in Abhängigkeit des verwendeten Mischguttyps in Tabelle 5.33 dargestellt. Die Bestimmung des Hohlraumgehaltes erfolgt dabei gem. ÖNORMEN 12697-8 [110]. Die Bestimmung der Raumdichte zur Ermittlung des Hohlraumgehaltes bei lärmindernden Dünnschichtdecken erfolgt gem. ÖNORM 12697-6 [122] mit dem Ausmessverfahren.

**Tabelle 5.33:** Anforderungen an den Hohlraumgehalt von lärmindernden Dünnschichtdecken (nach [85])

MISCHGUTTYP	HOHLRAUMGEHALT [VOL.-%]		
	Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
BBTM 5A	11,0 bis 17,0	17,1 bis 21,0	$> 21,0$
BBTM 8B			

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von lärmindernden Dünnschichtdecken nach Fertigstellung sind in Tabelle 5.34 zusammengefasst.

**Tabelle 5.34:** Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von lärmindernden Dünnschichtdecken nach Fertigstellung (nach [85])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Ebenheit [mm/4 m]	RVS 11.06.62 [113]	$\leq 4$	5 bis 12	$> 12$
Textur (Rautiefe) [mm]	ÖNORMEN 13036-1 [80]	$\geq 0,4$	–	$< 0,4$
Griffigkeit <sup>(1)</sup> [/]	RVS 11.06.65 [97]	$\mu \geq 0,62^{(2)}$	$0,59 > \mu \geq 0,52$	$\mu < 0,52$
Rollgeräusch <sup>(3)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 100$	–	$> 100$
Rollgeräusch <sup>(4)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 96$	–	$> 96$
Rollgeräusch <sup>(5)</sup> [dB(A)]	RVS 11.06.64 [76]	$\leq 87$	–	$> 87$
(1) bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h				
(2) Sollwert - Messtoleranz (= 0,03) = Grenzwert für die Berechnung des Qualitätsabzuges				
(3) bei einer Messgeschwindigkeit von 100 km/h für Bundesstraßen A+S				
(4) bei einer Messgeschwindigkeit von 80 km/h für Bundesstraßen A+S bzw. Landesstraßen B+L				
(5) bei einer Messgeschwindigkeit von 50 km/h für Landesstraßen B+L im Ortsgebiet				

Bei Bauloslängen unter 500 m kann der Auftraggeber auf die Messungen gem. RVS 11.06.65 mit dem System RoadSTAR verzichten und eine kombinierte Messung mit dem SRT- Pendel und dem Ausflusszylinder durchführen.

#### 5.5.3.4 Lärmindernde Dünnschichtdecke - Gewährleistung

Die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften (Spurrinntiefe, Risse und Griffigkeit) vor dem Ablauf der Gewährleistungsfrist für die lärmindernde Dünnschichtdecke sind in Tabelle 14 der RVS 08.16.01 [85] geregelt (siehe auch Abschnitt 5.2.2.1 dieser Arbeit - Nachweise vor Ablauf der Gewährleistungsfrist).

#### 5.5.3.5 Lärmindernde Dünnschichtdecke - Betrachtung des Lärminderungspotenziales

##### Allgemeines

Für die Betrachtung der Lärmemissionen wird eine lärmindernde Dünnschichtdecke mit Größtkorn 8 mm des Mischguttyps B (BBTM 8B) herangezogen (ebenso wurde der ehemalige Fahrbahndeckschichttyp LDDH 8 miteinbezogen, der dem des BBTM 8B in etwa entspricht). Dabei werden die in der Datenbank österreichischer Lärmessungen [29] gesammelten Lärmessdaten, sowohl Ergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen als auch aus

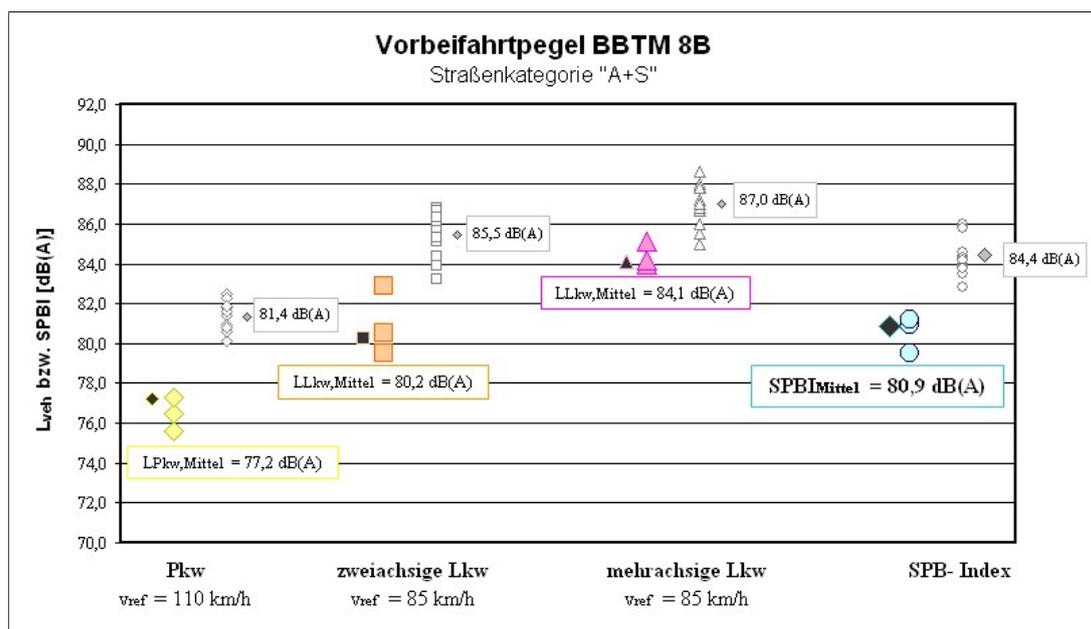
Rollgeräuschmessungen, analysiert und jeweils den Ergebnissen der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 gegenübergestellt.

### Lärmemissionen aus Vorbeifahrtmessungen

Bei der Analyse des Neuzustandes des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B werden Messergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen herangezogen, die an Straßen der Straßenkategorie "A+S" durchgeführt wurden (für die anderen beiden Straßenkategorien "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" wären aufgrund der geringen Datenlage keine seriösen Analysen möglich).

Der Analyse der Vorbeifahrtmessungen werden somit als Referenzgeschwindigkeiten 110 km/h für die Fahrzeugkategorie "Pkw" und 85 km/h für die beiden Fahrzeugkategorien "zweiachsige Lkw" und "mehrachsige Lkw" zugrunde gelegt.

Abbildung 5.41 zeigt Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen der drei Fahrzeugkategorien an Autobahnen und Schnellstraßen und den zugehörigen SPB-Indices. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (Messwerte bzw. SPB-Indices) der Abbildung 5.41 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



**Abbildung 5.41:** Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp BBTM 8B an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren Vorbeifahrtindex von 80,9 dB(A). Bei der Betrachtung der einzelnen Fahrzeugkategorien ergibt sich für Pkw's ein mittlerer Vorbeifahrtpegel von 77,2 dB(A), für zweiachsige Lkw's einer von 80,2 dB(A) und für mehrachsige Lkw's einer von 84,1 dB(A). Der Fahrbahndeckschichttyp BBTM 8B weist somit ein ähnliches Lärmverhalten bei der Vorbeifahrt wie der einlagige offenporige Asphalt (PA 11, P2) auf.

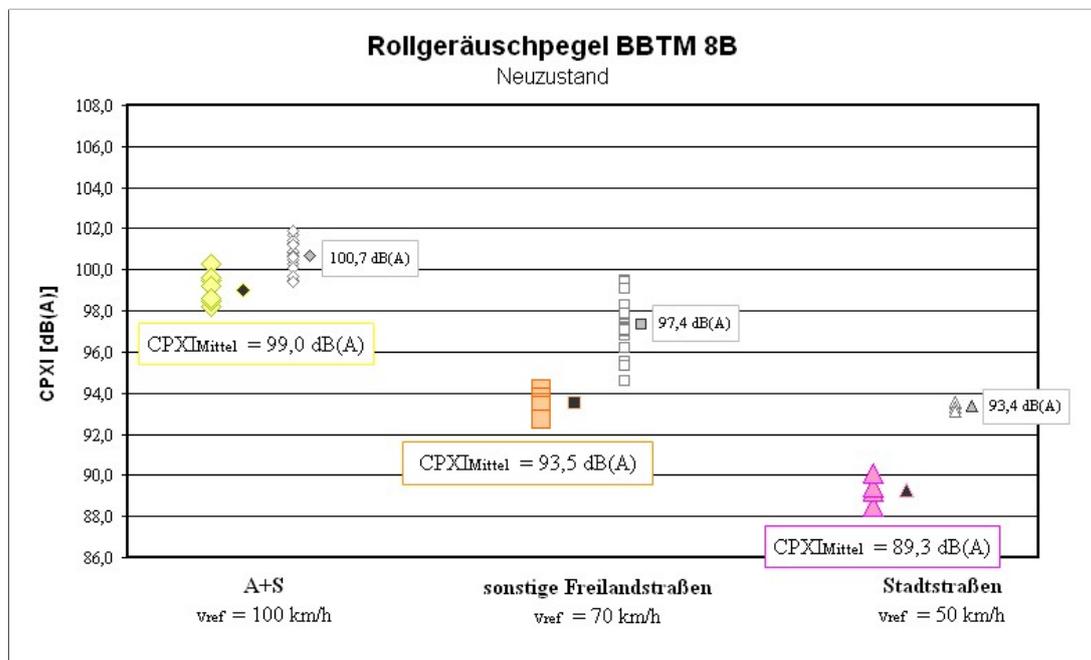
Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich ein Lärminderungspotenzial für den SPB- Index von 3,5 dB(A).

### Lärmemissionen aus Rollgeräuschmessungen

Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen werden einerseits zur Analyse des Neuzustandes und andererseits zur Analyse des akustischen Alterungsverhaltens des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B herangezogen. Als Grundlage zur akustischen Beurteilung dient der CPX-Index gem. ISO/CD 11819-2 [28] der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen". Die im Folgenden gezeigten Messergebnisse und Analysen beziehen sich auf den Neuzustand des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B.

Der Analyse der Rollgeräuschmessungen werden für die Straßenkategorie "A+S" als Referenzgeschwindigkeit 100 km/h, für die Straßenkategorie "sonstige Freilandstraßen" 70 km/h und für die Straßenkategorie "Stadtstraßen" 50 km/h zugrunde gelegt.

Abbildung 5.42 zeigt Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs BBTM 8B im Neuzustand an den drei untersuchten Straßenkategorien. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (CPX-Indices) der Abbildung 5.42 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



**Abbildung 5.42:** CPX-Index der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" für den Fahrbahndeckschichttyp BBTM 8B im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren CPX-Index von 99,0 dB(A), für die Straßenkategorie "sonstige Freilandstraßen" einen von 93,5 dB(A) und für die Straßenkategorie "Stadtstraßen" einen von 89,3 dB(A). Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich ein Lärminderungspotenzial in den Rollgeräuschpegeln der Straßenkategorien "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" von ca. 4,0 dB(A), für die Straßenkategorie "A+S" lediglich ein Lärminderungspotenzial von 1,7 dB(A).

Somit weist der BBTM 8B ein ähnliches Lärmverhalten wie der einlagige offenporige Fahrbahndeckschichttyp PA 11, S2 auf.

## 5.6 Lärmindernde Fahrbahndeckschichten - Betonbauweisen

### 5.6.1 Allgemeines

Konventionelle Betondecken, die normalerweise mit einem Größtkorn von 22 mm hergestellt werden, zeigen generell ein schlechteres Lärmemissionsverhalten als konventionelle Asphaltbauweisen. Zur Verbesserung der Anfangsgriffigkeit dieser Betondecken wurde der so genannte Querbesenstrich verwendet, der jedoch den Reifen zu Schwingungen anregt [75] und somit zu einer Erhöhung der Lärmemissionen beiträgt.

In weiterer Folge wurden verschiedene Maßnahmen der Realisierung einer Lärmreduktion von Betondecken getroffen, wie zum Beispiel die Anwendung eines Längsbesenstrichs oder die Verwendung von Längsglätttern in Verbindung mit der Herstellung einer Längstextur (durch Jutetuch, Kunststoffkamm, Kunststoffmatten). Diese Maßnahmen brachten eine Lärmreduktion im Vergleich zu konventionellen Betondecken um bis zu ca. 3 dB(A) [124]. Allerdings geht diese Lärminderung aufgrund des vergleichsweise geringen Verschleißwiderstandes dieser Strukturen bald wieder verloren [75].

Aus diesem Grund wurde die Waschbetonstruktur entwickelt, die heutzutage die dominierende lärmindernde Betonbauweise darstellt und im Folgenden detailliert beschrieben wird.

### 5.6.2 Waschbeton

#### 5.6.2.1 Waschbeton - Bauweise

Der Waschbeton stellt eine lärmindernde Sonderbauweise von Betondecken dar. Es gelten allerdings dieselben Anforderungen der baulichen Gestaltung und der Betonmischgutbereitung wie bei herkömmlichen Betondecken (siehe hierzu Kapitel 3 und 4 der RVS 08.17.02 [98]). Demnach ist die erforderliche Mindestdicke von Betondecken gem. RVS 03.08.63 [125] festzulegen.

Grundsätzlich sind Betondecken in Felder einzuteilen und ohne Bewehrung herzustellen. Die Feldlänge darf dabei das 1,5-fache der Feldbreite nicht überschreiten.

Längs- und Querfugen sind standardmäßig rechtwinkelig zueinander auszuführen. Bei Längsfugen sind je Feldlänge drei Anker einzubauen, ein Anker in Feldmitte, die beiden anderen beiderseits vom Mittelanker in einem Abstand von höchstens 1,5 m. Querfugen sind in der Regel im Abstand der 25-fachen Deckendicke, jedoch höchstens im Abstand von 5,5 m anzuordnen. Bei allen Querfugen sind in der Mitte der Plattendicke Dübel zu setzen (siehe Abbildung 5.43).

Nach dem Einbau erhalten Querfugen Hohlraumfugenbänder, Längsfugen werden mit bituminösen Vergussmassen verschlossen [126].



**Abbildung 5.43:** Beispiel für ein Setzgerät zum Einbau von Dübel

Die Betondecke mit Waschbetonstruktur wird in der Regel in zwei Schichten (Ober- und Unterbeton) frisch auf frisch eingebaut. Dabei werden für die obere Schicht speziell widerstandsfähige Gesteine verwendet. Die untere Schicht kann mit konventionellem Straßenbeton eingebaut werden, wobei die Verwendung von rezyklierten Betonmaterialien ebenfalls möglich ist.

Der Einbau erfolgt mit einem Gleitschalungsfertiger, der das Betonmischgut gleichmäßig über die Einbaubreite verteilt und verdichtet (siehe Abbildung 5.44).



**Abbildung 5.44:** Beispiel eines Gleitschalungsfertigers für den Einbau einer Betondecke

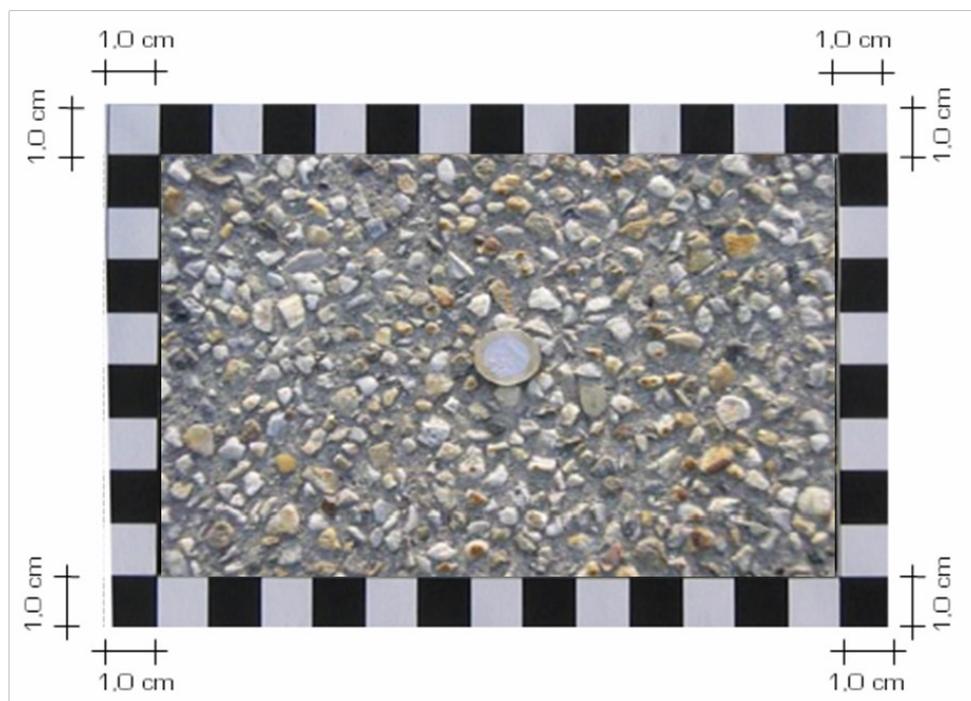
Auf dem fertig eingebauten, verdichteten und geglätteten Oberbeton wird ein Kontaktverzögerer aufgesprüht, der das Abbinden der obersten Schicht verhindert (siehe Abbildung 5.45). Danach wird eine Kunststoffolie als Verdunstungsschutz aufgebracht, die blasenfrei über die ganze Betonfläche aufgelegt werden muss. Nach einer Abbindezeit von 12 bis 16 Stunden werden die Scheinfugen durch die Folie hindurch geschnitten. Die verwendete Folie wird dann ungefähr 24 bis 30 Stunden nach dem Betonieren entfernt. Durch ein Bürsten der Oberfläche, bei dem die groben Zuschläge in der oberflächennahen Zone frei gelegt werden, wird schließlich die Waschbetonstruktur hergestellt. Zur Verhinderung

eines raschen Austrocknens des Waschbetons wird zusätzlich ein Nachbehandlungsmittel aufgesprüht [75].



**Abbildung 5.45:** Aufbringen eines Kontaktverzögerers auf den Oberbeton

Abbildung 5.46 zeigt ein typisches Oberflächenbild einer Fahrbahndeckschicht aus Waschbeton (mit Größtkorn 11 mm).



**Abbildung 5.46:** Oberfläche eines Waschbetons mit Größtkorn 11 mm

Die in der RVS 08.17.02 [98] geforderten Profilsitzenabstände an der Waschbetonoberfläche bewirken eine ausreichende Entlüftung der Profiltrillen und verhindern gleichzeitig die Reifenschwingungen. Das ermöglicht eine Verminderung des Lärmpegels um mindestens 2 dB(A) im Vergleich zum herkömmlichen Beton [1].

### 5.6.2.2 Waschbeton - Anforderungen bei der Erstprüfung

Der Nachweis der Eignung einer Fahrbahndeckschicht aus Beton wird vom Auftragnehmer in Form einer CE-Kennzeichnung des Produktes in Verbindung mit dem korrespondierenden Erstprüfungsbericht erbracht. Der Beton ist dabei als Erstprüfungsbeton gem. ÖNORM B 4710-1 [127] herzustellen. Als Grundlage für die Ausbildung einer Waschbetonstruktur ist der Oberbeton aus Sand 0/1 mm oder 0/2 mm und den Körnungen 4/8 mm für den Waschbeton GK 8 bzw. 4/8 mm + 8/11 mm oder 4/11 mm für den Waschbeton GK 11 herzustellen. Für den Unterbeton sind Körnungen GK 22 oder GK 32 zu verwenden.

Die Anforderungen an den Waschbeton bei der Erstprüfung gliedern sich in jene an die Baustoffe und jene an den Beton. Für die verwendeten Baustoffe sind Eignungsprüfungen für folgende Stoffarten durchzuführen:

- Betonausgangsstoffe (Gesteinskörnung, Zement, Wasser)
- Zusatzmittel (Luftporenmittel, Fließmittel, Verflüssiger, Verzögerer)
- Konstruktionsteile (Vlies, Folie, Fugeneinlagen und -füllstoffe, Flachdrain)
- Hilfsstoffe (Kontaktverzögerer, Nachbehandlungs- und Kombinationsmittel, Imprägnierungsmittel)

In Tabelle 19.1 der RVS 08.17.02 [98] sind die Anforderungen und Prüfbestimmungen an die Baustoffe bei der Erstprüfung aufgelistet. Für den Oberbeton von Waschbeton ist beispielsweise für den Widerstand gegen Zertrümmerung ein LA-Wert gem. ÖNORM EN 1097-2 [105] von maximal 20 bzw. für den Widerstand gegen Polieren ein PSV-Wert gem. ÖNORM EN 1097-8 [106] von minimal 50 gefordert. Für Gesteinskörnungen < 4 mm ist die Frost-Widerstandsklasse  $F_1$  gem. ÖNORM B 3303 [128] nachzuweisen.

Handelt es sich bei den verwendeten Ausgangsstoffen um Produkte, für die ein nach Art und Umfang ausreichender Überwachungsvertrag mit einer akkreditierten Prüfstelle besteht, ist es nicht nötig, die Eignung in jedem Einzelfall nachzuweisen.

Für den Beton sind bei der Erstprüfung folgende Parameter zu prüfen (Details siehe Tabelle 19.2 der RVS 08.17.02 [98]):

- Sieblinie: Angabe durch den Auftragnehmer (gem. ÖNORM EN 933-1 [129])
- Frischbeton: Frischbetonkennwerte und Zusätze (gem. ÖNORM B 3303 [128])
- erhärteter Beton: Spaltzugfestigkeit und Luftporenkennwerte (gem. ÖNORM B 3303 [128])
- flüssige Nachbehandlungsmittel: Bestimmung der Auftragsmenge (gem. RVS 11.06.42 [130])

Für den Waschbeton ist bei der Erstprüfung eine Musterplatte von mindestens 1.000 cm<sup>2</sup> mit den vorgesehenen Mitteln nach dem gewählten Verfahren herzustellen. Danach ist einerseits die Rautiefe gem. ÖNORM EN 13036-1 [80] von 0,8 mm bis 1,0 mm für GK 8 bzw. 1,0 mm bis 1,3 mm für GK 11 nachzuweisen und andererseits die Anzahl der Profilspitzen je Flächeneinheit (Profilspitzenzahl als Mittel aus 3 Teilflächen von je 25 cm<sup>2</sup>) zu bestimmen (Richtwert für GK 8: 60 Profilspitzen je 25 cm<sup>2</sup>; Richtwert für GK 11: 45 Profilspitzen je 25 cm<sup>2</sup>).

Für die Kennzeichnung der Waschbetondecke sind in der RVS 08.17.02 keine Angaben gemacht. In dieser Arbeit werden folgende Kennzeichnungen verwendet: EACC GK 8 für den Waschbeton mit Größtkorn 8 mm und EACC GK 11 für den Waschbeton mit Größtkorn 11 mm.

### 5.6.2.3 Waschbeton - Anforderungen bei der Abnahmeprüfung

Die Anforderungen bei der Abnahmeprüfung sind in der RVS 08.17.02 [98] je nach Baugröße in den Tabellen

- Tabelle 21.1 der RVS 08.17.02 für Baugröße über 20.000 m<sup>2</sup>,
- Tabelle 21.2 der RVS 08.17.02 für Baugröße von 2.000 m<sup>2</sup> bis 20.000 m<sup>2</sup> und
- Tabelle 21.3 der RVS 08.17.02 für Baugröße unter 2.000 m<sup>2</sup>

geregelt. Können diese Anforderungen nicht eingehalten werden, sind entweder Sanierungen vorzunehmen, Qualitätsabzüge zu berechnen oder auch die Gewährleistungsfrist zu verlängern (siehe Abschnitt 5.6.2.4 dieser Arbeit). Zur Ermittlung des Qualitätsabzuges ist der angebotene Einheitspreis, der die Herstellungs- und Materialkosten für 1 m<sup>2</sup> Betondecke (Unter- und Oberbeton) zusammenfasst, heranzuziehen (Details siehe Kapitel 10 der RVS 08.17.02 [98]).

Der für Waschbetondecken bei der Abnahmeprüfung geforderte Rollgeräuschpegel nach RVS 11.06.64 [76] ist in Tabelle 5.35 dargestellt.

**Tabelle 5.35:** Anforderungen an den Rollgeräuschpegel des Waschbetons bei der Abnahmeprüfung ermittelt gem. RVS 11.06.64 (nach [98])

MESSGESCHWINDIGKEIT [KM/H]	ROLLGERÄUSCHPEGEL [dB(A)]	
	EACC GK 8	EACC GK 11
100	≤ 101	≤ 102
90	≤ 90	–

In Tabelle 5.36 sind die weiteren Anforderungen bei der Abnahmeprüfung für Baugröße über 20.000 m<sup>2</sup> zusammengefasst.

**Tabelle 5.36:** Anforderungen an Waschbetondecken bei der Abnahmeprüfung (nach [98])

EIGENSCHAFT	PRÜFNORM	ANFORDERUNG AN DIE ÜBERNAHME		
		Sollwert	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Betondicke <sup>(1)</sup> [mm]	ÖNORMEN 13863-1 [131]	$\geq SD -5 \text{ mm}$	–	–
Dicke des Oberbetons <sup>(2)</sup> [mm]	ÖNORMEN 12697-36 [109]	$\geq 35 \text{ mm}$	–	(2)
Spaltzugfestigkeit <sup>(3)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	ÖNORM B 3303 [128]	$\geq SW$	SW bis SW -15%	< SW -15%
Luftgehalt <sup>(4)</sup> [–]	ÖNORM B 3303 [128]	$\leq SW$		(5)
Gesteinskörnung [LA- Wert]	ÖNORMEN 1097-2 [105]	$\leq 20$	–	–
Gesteinskörnung [PSV- Wert]	ÖNORMEN 1097-2 [105]	$\geq 50$	–	–
Ebenheit [mm/4 m]	RVS 11.06.62 [113]	$\leq 4$	5 bis 8	> 8
Griffigkeit [∕]	RVS 11.06.65 [97]	$\mu \geq 0,56$	$0,56 > \mu > 0,45$	$\mu \leq 0,45$

(1) Die Solldicke SD ist in der Ausschreibung festgelegt.

(2) Ist  $SD_{\text{Oberbeton}}$  über 2 cm unter dem Soll, ist die Gewährleistungsfrist um 2 Jahre zu verlängern.

(3) Die Sollwerte SW der Spaltzugfestigkeit sind in Tabelle 5.37 dieser Arbeit aufgelistet.

(4) Die Sollwerte SW der Luftporenkennwerte sind in Tabelle 5.38 dieser Arbeit aufgelistet.

(5) Werden Luftporenwerte nicht eingehalten, ist die Gewährleistungsfrist um 2 Jahre zu verlängern.

Ebenso ist die Anzahl gerissener Deckenfelder durch Messen und Zählen festzustellen. Rissefreiheit ist dann gegeben, wenn die Anzahl der gerissenen Deckenfelder mit Rissen breiter als 1 mm, die eine Mindestlänge von 1 m aufweisen, < 2,0 % ist.

**Tabelle 5.37:** Anforderungen an die Spaltzugfestigkeit des Waschbetons ermittelt gem. ÖNORM B 3303 (nach [98])

	SPALTZUGFESTIGKEITSKLASSE	ABNAHMEPRÜFUNG [N/MM <sup>2</sup> ]	
		Einzelwert	MW von jeweils 3 Einzelwerten
Ober- und Unterbeton	SC 2,4	1,9	2,9
Oberbeton	SC 2,7	2,2	3,2

Als Einzelwert wird der Mittelwert von mindestens 3 Prüfwerten an Bohrkernen aus einem Betonfeld zur Bestimmung der Spaltzugfestigkeit herangezogen.

**Tabelle 5.38:** Anforderungen an die Luftporenkennwerte des Waschbetons ermittelt gem. ÖNORM B 3303 (nach [98])

	ABNAHMEPRÜFUNG	
	L300 [%]	Abstandsfaktor [mm]
Unterbeton	1,8	0,21
Oberbeton	1,8	0,21

#### 5.6.2.4 Waschbeton - Gewährleistung

Die Gewährleistungsfrist für Betondecken beträgt generell 5 Jahre. Allerdings kann bei Nichteinhaltung der Anforderungen an

- die Spaltzugfestigkeit,
- den Luftporenkennwert und
- die Griffigkeit

bei der Abnahmeprüfung eine Verlängerung der Gewährleistungsfrist erfolgen. Liegt der Reibungsbeiwert  $\mu$  bei Autobahnen und Schnellstraßen am Ende der Gewährleistungsfrist bei 0,49 oder darunter, ist die Gewährleistung hinsichtlich der Griffigkeit um 2 Jahre zu verlängern. Liegt das Messergebnis bei 0,45 oder darunter, hat der Auftragnehmer Maßnahmen zur Herstellung einer übernahmefähigen Griffigkeit zu setzen. Falls hierzu noch verkehrsbeschränkende Maßnahmen nötig sind, kommt eine Pönale zur Anwendung.

#### 5.6.2.5 Waschbeton - Betrachtung des Lärminderungspotenziales

##### Allgemeines

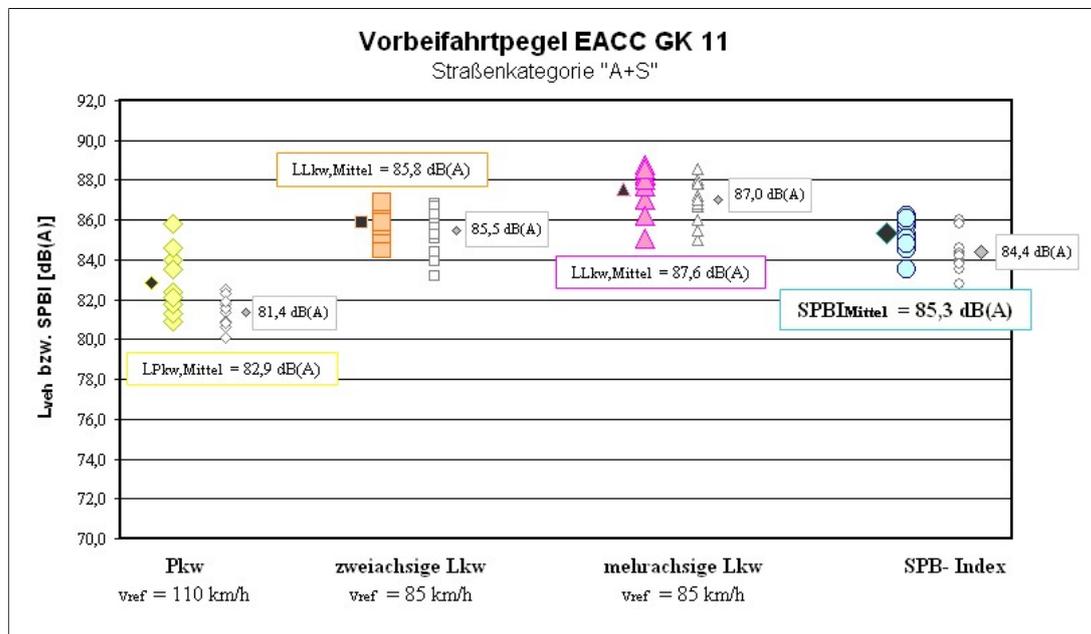
Für die Betrachtung der Lärmemissionen wird ein Waschbeton mit Größtkorn 11 mm (EACCGK 11) herangezogen. Dabei werden die in der Datenbank österreichischer Lärm-messungen [29] gesammelten Lärm-messdaten, sowohl Ergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen als auch aus Rollgeräuschmessungen, analysiert und jeweils den Ergebnissen der Referenz-fahrbahndeckschicht SMA 11, S2 gegenübergestellt.

##### Lärmemissionen aus Vorbeifahrtmessungen

Bei der Analyse des Neuzustandes des Fahrbahndeckschichttyps EACCGK 11 werden Messergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen herangezogen, die an Straßen der Straßen-kategorie "A+S" durchgeführt wurden (für die anderen beiden Straßenkategorien "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" wären aufgrund der geringen Datenlage keine seriösen Analysen möglich).

Der Analyse der Vorbeifahrtmessungen werden somit als Referenzgeschwindigkeiten 110 km/h für die Fahrzeugkategorie "Pkw" und 85 km/h für die beiden Fahrzeugkategorien "zweiachsige Lkw" und "mehrachsige Lkw" zugrunde gelegt.

Abbildung 5.47 zeigt Messergebnisse von Vorbeifahrtmessungen der drei Fahrzeugkategorien an Autobahnen und Schnellstraßen und den zugehörigen SPB-Indices. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (Messwerte bzw. SPB-Indices) der Abbildung 5.47 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



**Abbildung 5.47:** Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp EACC GK 11 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

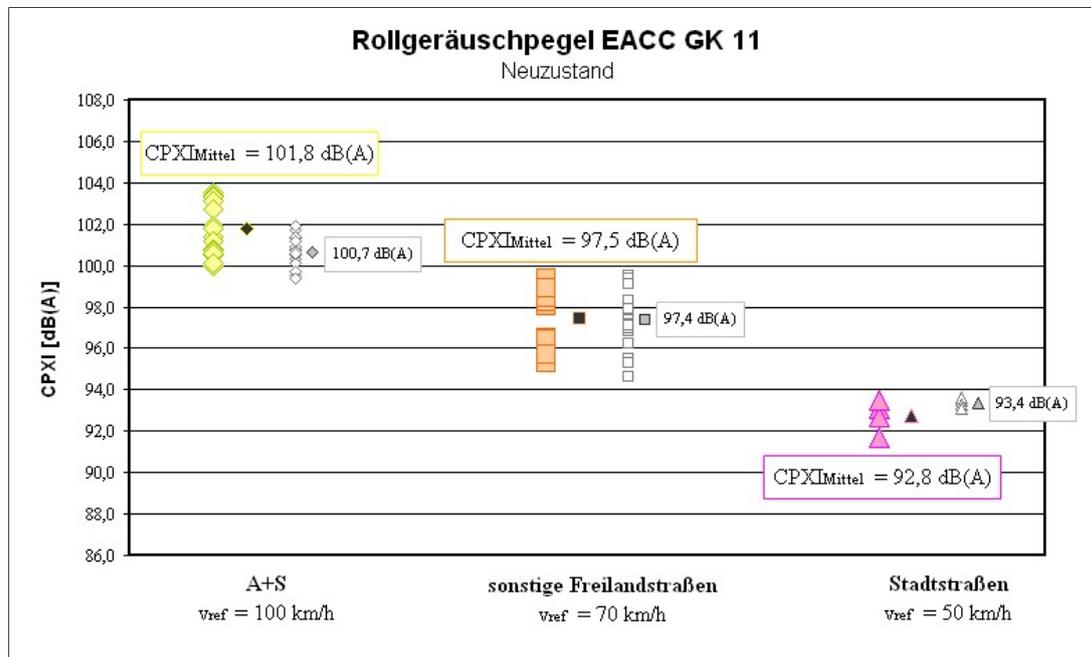
Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11 ergeben für die Straßenkategorie "A+S" einen mittleren Vorbeifahrtindex von 85,3 dB(A). Bei der Betrachtung der einzelnen Fahrzeugkategorien ergibt sich für Pkw's ein mittlerer Vorbeifahrtpegel von 82,9 dB(A), für zweiachsige Lkw's einer von 85,8 dB(A) und für mehrachsige Lkw's einer von 87,6 dB(A). Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich eine Lärmpegelerhöhung von bis zu 1,5 dB(A) für die Fahrzeugkategorie "Pkw". Für die beiden anderen Fahrzeugkategorien "zweiachsige Lkw" und "mehrachsige Lkw" liegen die Pegelwerte ungefähr auf demselben Niveau wie die der Referenzfahrbahndeckschicht. Im SPB-Index ergibt sich dadurch eine Pegelerhöhung im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht von 0,9 dB(A).

### Lärmmissionen aus Rollgeräuschmessungen

Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen werden einerseits zur Analyse des Neuzustandes und andererseits zur Analyse des akustischen Alterungsverhaltens des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11 herangezogen. Als Grundlage zur akustischen Beurteilung dient der CPX-Index gem. ISO/CD 11819-2 [28] der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen".

Die im Folgenden gezeigten Messergebnisse und Analysen beziehen sich auf den Neuzustand des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11. Der Analyse der Rollgeräuschmessungen werden für die Straßenkategorie "A+S" als Referenzgeschwindigkeit 100 km/h, für die Straßenkategorie "sonstige Freilandstraßen" 70 km/h und für die Straßenkategorie "Stadtstraßen" 50 km/h zugrunde gelegt.

Abbildung 5.48 zeigt Messergebnisse von Rollgeräuschmessungen an Fahrbahndeckschichten des Typs EACC GK 11 im Neuzustand an den drei untersuchten Straßenkategorien. Zusätzlich sind Daten der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 (CPX- Indices) der Abbildung 5.48 zum direkten Vergleich in grauer Farbe hinzugefügt.



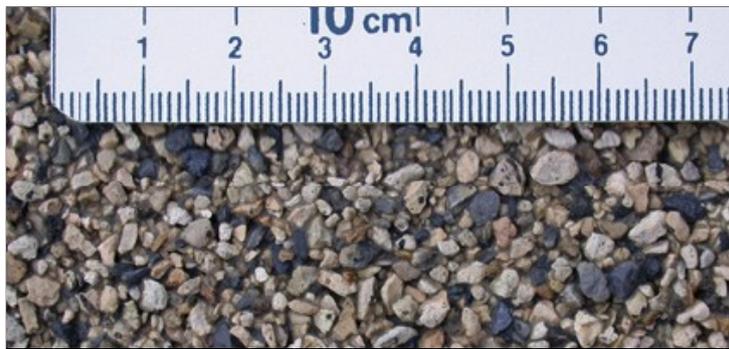
**Abbildung 5.48:** CPX-Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp EACC GK 11 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])

Die Analysen des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11 ergeben für die Straßenkategorie “A+S“ einen mittleren CPX-Index von 101,8 dB(A), für die Straßenkategorie “sonstige Freilandstraßen“ einen von 97,5 dB(A) und für die Straßenkategorie “Stadtstraßen“ einen von 92,8 dB(A). Im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zeigt sich für die beiden Straßenkategorien “A+S“ und “sonstige Freilandstraßen“ eine leichte Erhöhung des CPX-Indexes von 1,1 dB(A) bzw. 0,1 dB(A). Für Stadtstraßen weist der Waschbeton EACC GK 11 ein Lärminderungspotenzial in den Rollgeräuschpegeln von 0,6 dB(A) auf. Detaillierte Ergebnisse von Lärmmessungen an Waschbetondecken sind ebenfalls in [132] veröffentlicht.

### 5.6.3 Oberflächenbehandlung auf Beton

Oberflächenbehandlungen auf Beton werden primär zur Erhöhung der Griffigkeit von konventionellen Fahrbahndeckschichten aus Beton angewandt. Im Zuge der langjährigen Anwendung dieser Maßnahme wurde auch deren Lärminderungspotenzial im Vergleich zu konventionellen Betondecken erkannt. Allerdings werden diese Maßnahmen zur Verringerung der Lärmemissionen von konventionellen Betondecken heutzutage kaum mehr angewandt, unter einer lärm mindernden Betondecke wird generell eine Betondecke mit Waschbetonstruktur verstanden. Der Vollständigkeit halber wird kurz auf die Oberflächenbehandlung auf Epoxidharzbasis eingegangen, die oftmals als Lärm milderungsmaßnahme eingesetzt wurde.

Bei dieser Art der Oberflächenbehandlung auf Beton wird eine dünne Epoxidharzschicht mit Spezialmaschinen auf die Betonfahrbahndeckschicht aufgebracht und mit einem hoch polierresistenten Gemisch aus feinen und groben Gesteinskörnungen abgesplittet. Die Betonunterlage ist dabei vor dem Aufbringen des Bindemittels sorgfältig zu reinigen. Das Abstreumaterial wird standardmäßig in den Körnungen 1/2 mm, 1/3 mm, 2/3 mm oder 3/4 mm verwendet [133]. Unmittelbar nach dem Abstreuen der Kornfraktionen werden diese mittels Gummiradwalzen in die Kunstharzschicht eingedrückt. Ein etwaiges überschüssiges Abstreukorn wird durch Auskehren oder Absaugen von der Oberfläche entfernt [75]. Abbildung 5.49 zeigt das Oberflächenbild einer Oberflächenbehandlung auf Epoxidharzbasis.



**Abbildung 5.49:** Beispiel für eine Oberflächenbehandlung auf Epoxidharzbasis (EP-GRIP) [133]

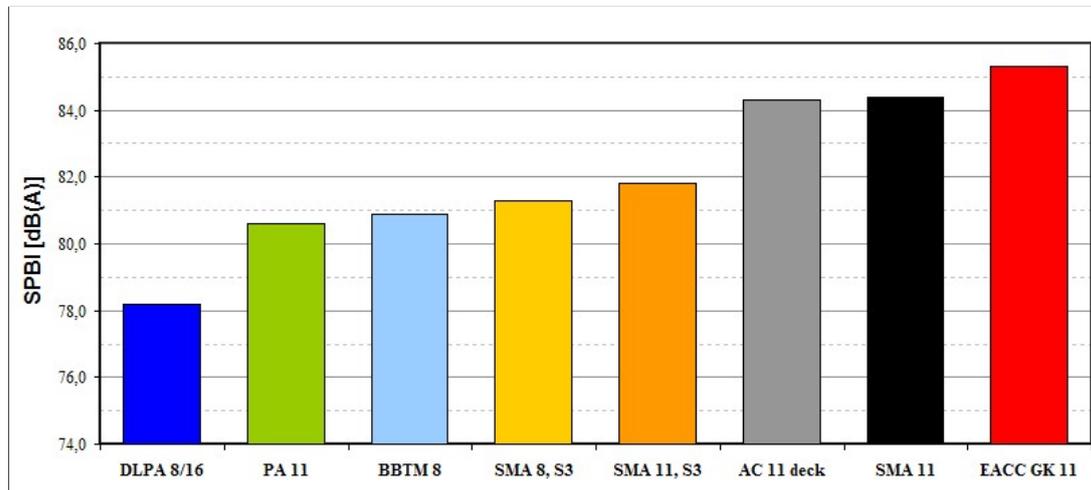
Heutzutage werden im österreichischen hochrangigen Straßennetz beispielsweise die Produkte EP-GRIP [133] und GRIPROAD [134] angewandt. Die Vorteile dieser Art der Oberflächenbehandlung liegen in einer Erhöhung der Fahrbahngriffigkeit, einer Verringerung der Rollgeräuschpegel um 1 - 2 dB(A) im Vergleich zur herkömmlichen Betondecke und in einer geringeren Sprühhahnenbildung. Allerdings können Erhöhungen des Lärmpegels, die durch Unebenheiten der Betonunterlage im Megatexturbereich entstehen, nicht vermieden werden. Die Lärminderungspotenziale dieser Art von Fahrbahndeckschichten hängen daher stark vom jeweiligen Ebenheitszustand der Unterlage ab [75].

## 5.7 Lärminderungspotenzial von lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen

Lärmindernde Fahrbahndeckschichten weisen durch ihre spezielle Mischgutzusammensetzung ein besonderes Verhalten bzgl. der Lärmemissionen aus dem Straßenverkehr auf. Das Lärminderungspotenzial dieser lärmindernd optimierten Fahrbahndeckschichttypen ist unumstritten und in vielen europäischen sowie auch österreichischen Forschungsprojekten nachgewiesen (siehe zum Beispiel [1], [17], [43], [62], [82] oder [114]). Zusammenfassend lässt sich eine Lärmpegelreduktion von bis zu 5 - 8 dB(A) von 2-lagigen offenporigen Asphaltdeckschichten im Vergleich zu konventionellen Splittmastixasphaltdeckschichten feststellen.

Datenanalysen aus der für diese Arbeit erstellten Datenbank österreichischer Lärmmessungen zeigen das Lärminderungspotenzial der untersuchten lärmtechnisch optimierten

Fahrbahndeckschichttypen zweilagiger offenporiger Asphalt (DLPA) sowie einlagiger offenporiger Asphalt (PA), lärmindernde Dünnschichtdecke (BBTM) sowie lärmindernder Splittmastixasphalt (SMA, S3). In den Abbildungen 5.50 und 5.51 sind Ergebnisse aus Vorbeifahrtmessungen an verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen im Neuzustand (mit einer Liegedauer von maximal einem Jahr) dargestellt. Die Auswertungen erfolgten dabei jeweils nach dem arithmetischen Mittelwert der betrachteten Messergebnisse je Fahrbahndeckschichttyp.



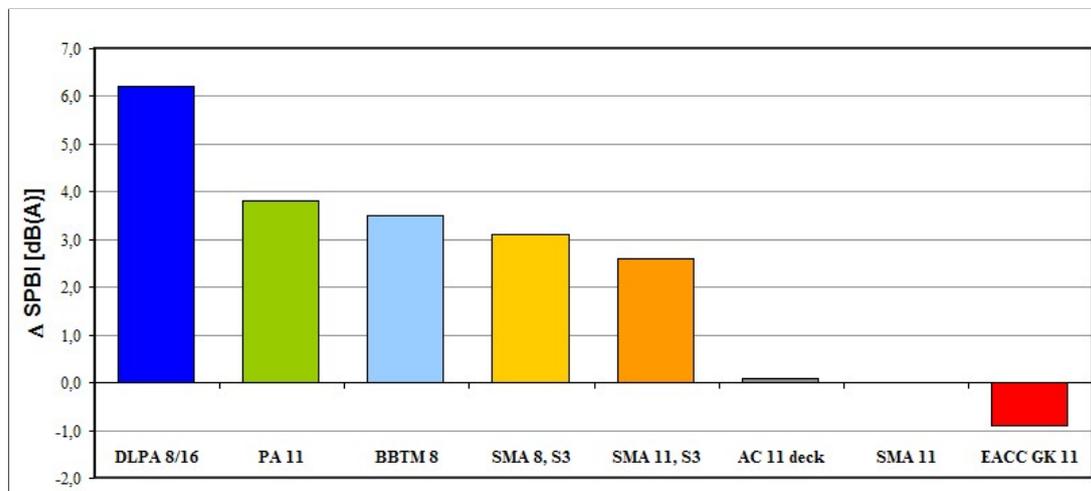
**Abbildung 5.50:** SPBI (Vorbeifahrtindex) unterschiedlicher Fahrbahndeckschichttypen im Neuzustand - direkt nach Deckschichtlegung (Daten aus [29])

Legende:

DLPA 8/16	.....	zweilagiger offenporiger Asphalt (Größtkorn obere Schicht: 8 mm; Größtkorn untere Schicht: 16 mm)
PA 11	.....	einlagiger offenporiger Asphalt (Größtkorn: 11 mm)
BBTM 8	.....	lärmindernde Dünnschichtdecke (Größtkorn: 8 mm)
SMA 8, S3	.....	lärmindernder Splittmastixasphalt (Größtkorn: 8 mm)
SMA 11, S3	.....	lärmindernder Splittmastixasphalt (Größtkorn: 11 mm)
AC 11 deck	.....	polymermodifizierter Walzasphalt (Größtkorn: 11 mm)
SMA 11	.....	konventioneller Splittmastixasphalt (Größtkorn: 11 mm)
EACC GK 11	.....	Waschbeton (Größtkorn: 11 mm)

Die durchgeführten Analysen zeigen beim SPB-Index eine Pegeldifferenz zwischen dem leisesten und dem lautesten Fahrbahndeckschichttyp von über 7 dB(A). Die untersuchten lärmindernden Splittmastixasphalte weisen um 3-4 dB(A) höhere Vorbeifahrtpegel als die zweilagigen offenporigen Fahrbahndeckschichttypen auf. Beim Vergleich der zweilagigen mit der einlagigen offenporigen Bauweise ist ebenfalls eine Pegeldifferenz von ca. 2-3 dB(A) zu erkennen. Der einlagige offenporige Asphalt (PA 11) zeigt ebenso wie die lärmindernde Dünnschichtdecke (BBTM 8) ein ähnliches Lärminderungspotenzial wie die lärmindernden Splittmastixasphalte (SMA 8, S3 und SMA 11, S3). Diese sind um 2-3 dB(A) leiser als die beiden konventionellen Fahrbahndeckschichttypen Splittmastixasphalt (SMA 11) und polymermodifizierter Walzasphalt (AC 11 deck). Die analysierten Waschbetondeckschichten zeigen einen um 1 dB(A) höheren Vorbeifahrtpegel als der SMA 11

auf. Abbildung 5.51 zeigt das Lärminderungspotenzial der untersuchten Fahrbahndeckschichten im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, was die unterschiedlichen Vorbeifahrtpegel der verschiedenen Fahrbahndeckschichten noch besser verdeutlicht.



**Abbildung 5.51:** Lärminderungspotenzial unterschiedlicher Fahrbahndeckschichttypen im Vergleich zu einem SMA 11 im Neuzustand - direkt nach Deckschichtlegung (Daten aus [29])

Legende:

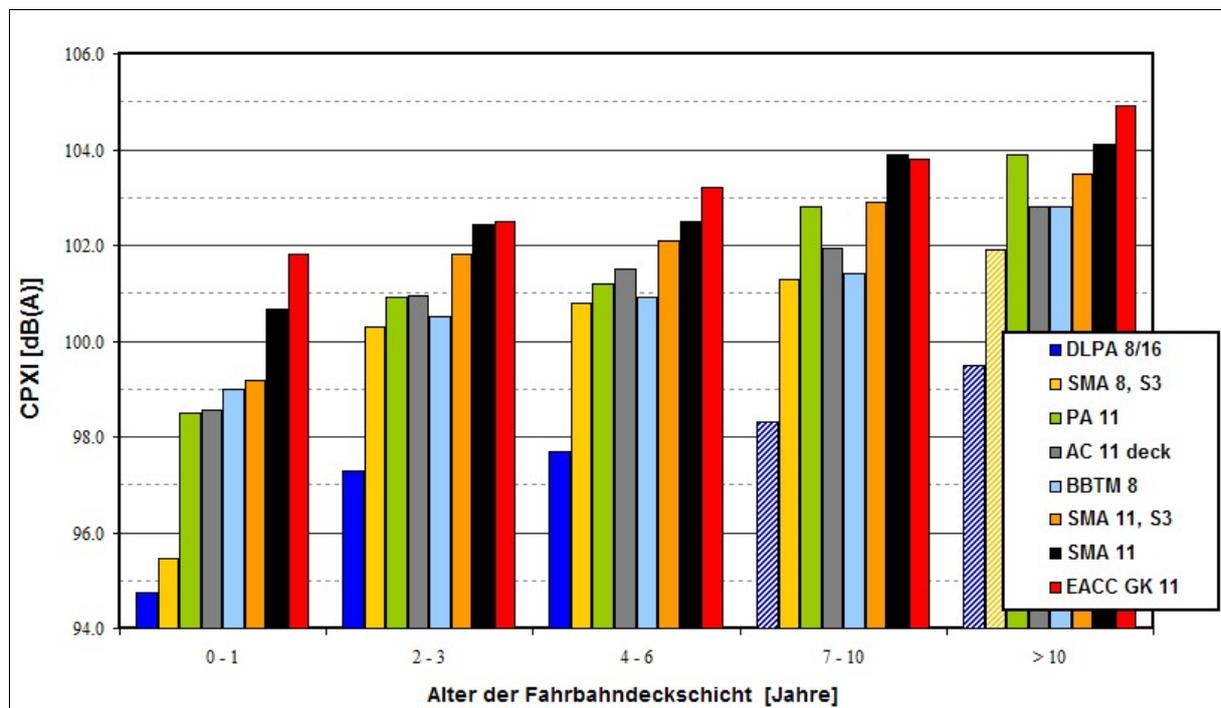
- DLPA 8/16 ..... zweilagiger offenporiger Asphalt (Größtkorn obere Schicht: 8 mm; Größtkorn untere Schicht: 16 mm)
- PA 11 ..... einlagiger offenporiger Asphalt (Größtkorn: 11 mm)
- BBTM 8 ..... lärmindernde Dünnschichtdecke (Größtkorn: 8 mm)
- SMA 8, S3 ..... lärmindernder Splittmastixasphalt (Größtkorn: 8 mm)
- SMA 11, S3 ..... lärmindernder Splittmastixasphalt (Größtkorn: 11 mm)
- AC 11 deck ..... polymermodifizierter Walzasphalt (Größtkorn: 11 mm)
- SMA 11 ..... konventioneller Splittmastixasphalt (Größtkorn: 11 mm)
- EACC GK 11 ..... Waschbeton (Größtkorn: 11 mm)

Datenanalysen von Rollgeräuschmessungen verschiedener Fahrbahndeckschichttypen des österreichischen hochrangigen Straßennetzes bestätigen den großen Vorteil der offenporigen (und hier besonders der zweilagigen) Asphaltbauweise in den ersten Liegejahren.

Abbildung 5.52 zeigt sowohl das akustische Anfangs- sowie auch das akustische Langzeitverhalten verschiedener Fahrbahndeckschichten anhand durchgeführter Rollgeräuschmessungen (CPX-Messungen) bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h. In Abbildung 5.53 ist hingegen die Erhöhung des Rollgeräuschpegels (CPXI) im Vergleich zur jeweiligen neuen Fahrbahndeckschicht dargestellt (Liegedauer der Fahrbahndeckschicht von maximal einem Jahr). Bei dieser Analyse handelt es sich um eine deckschichtbezogene Auswertung, das heißt, die Änderung des Rollgeräuschpegels bezieht sich immer auf die betrachtete Fahrbahndeckschicht. Für eine Analyse des akustischen Langzeitverhaltens sind somit die beiden Abbildungen 5.52 und 5.53 gemeinsam zu berücksichtigen.

Bei der Betrachtung des akustischen Langzeitverhaltens weisen die offenporigen Fahrbahndeckschichten (einlagige sowie zweilagige Bauweise) sowie der lärmindernde Splitt-

mastixasphalt SMA 11, S3 und der polymermodifizierte Walzasphalt AC 11 deck in den ersten Liegejahren einen ähnlichen Anstieg ihres CPX-Indexes von ca. 2,5 dB(A) auf, die lärmindernde Dünnschichtdecke BBTM 8 und die Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11 zeigen mit ca. 1,5 dB(A) eine niedrigere Pegelerhöhung. Der lärmindernde Splittmastixasphalt SMA 8, S3 zeigt mit ca. 5 dB(A) eine starke Pegelerhöhung. Allerdings liegen in absoluten Werten gesehen die lärmindernden Fahrbahndeckschichten SMA 8, S3, PA 11 und BBTM 8 mit dem AC 11 deck nach 2-3 Jahren Liegedauer auf einem ähnlichen Rollgeräuschpegelniveau (siehe Abbildung 5.52). Allein die Waschbetondeckschicht EACC GK 11 hält ungefähr ihr Lärmniveau, sie ist allerdings nach einer Liegedauer von 2-3 Jahren im Vergleich mit den Asphaltbauweisen immer noch zu den lautesten Fahrbahndeckschichten zu zählen.

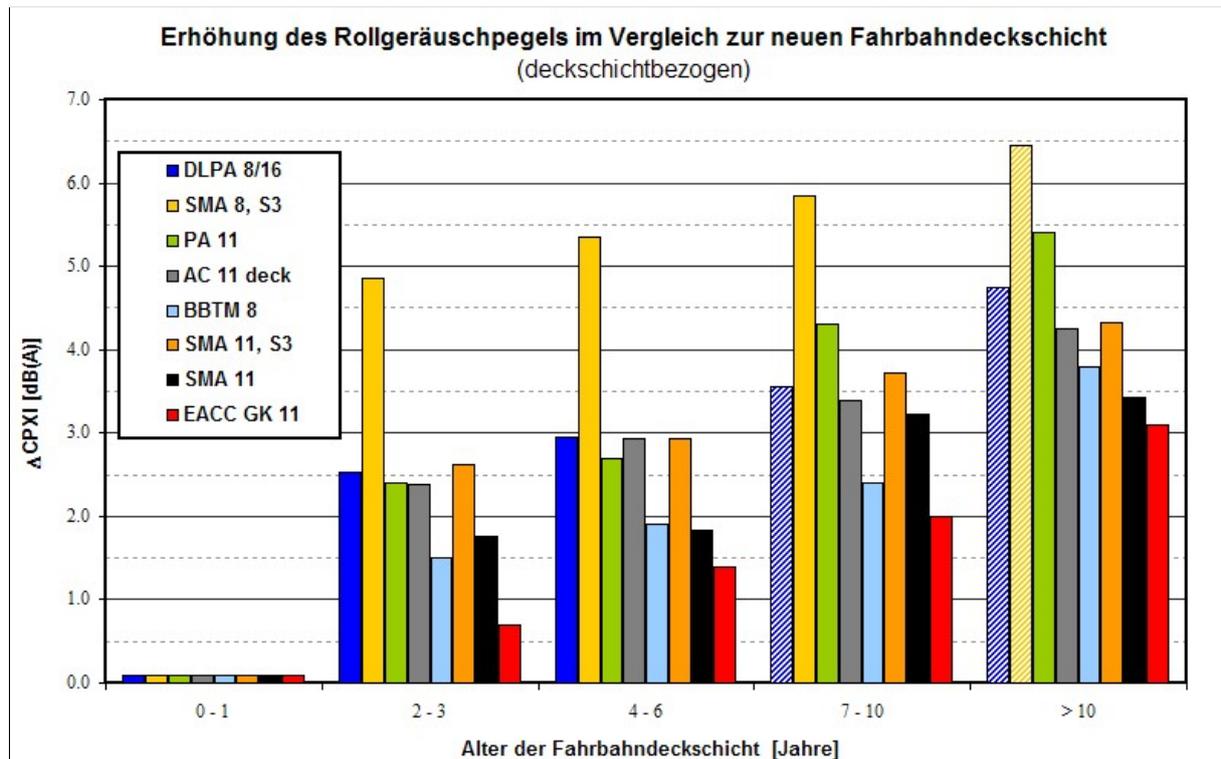


**Abbildung 5.52:** Zeitreihen verschiedener österreichischer Fahrbahndeckschichttypen, Auswertungen von Rollgeräuschmessungen gem. ISO/CD 11819-2 bei einer Messgeschwindigkeit von 100 km/h nach dem CPX-Index, die schräg strichlierten Balken - für DLPA 8/16 ab einer Liegedauer von 7 Jahren, für SMA 8, S3 für eine Liegedauer > 10 Jahre - stellen Abschätzungen dar (Daten aus [29])

Legende:

DLPA 8/16	.....	zweilagiger offenporiger Asphalt (Größtkorn obere Schicht: 8 mm; Größtkorn untere Schicht: 16 mm)
SMA 8, S3	.....	lärmindernder Splittmastixasphalt (Größtkorn: 8 mm)
PA 11	.....	einlagiger offenporiger Asphalt (Größtkorn: 11 mm)
AC 11 deck	.....	polymermodifizierter Walzasphalt (Größtkorn: 11 mm)
BBTM 8	.....	lärmindernde Dünnschichtdecke (Größtkorn: 8 mm)
SMA 11, S3	.....	lärmindernder Splittmastixasphalt (Größtkorn: 11 mm)
SMA 11	.....	konventioneller Splittmastixasphalt (Größtkorn: 11 mm)
EACC GK 11	.....	Waschbeton (Größtkorn: 11 mm)

Mit weiter ansteigender Liegedauer der Fahrbahndeckschichten kommt es bei allen untersuchten Fahrbahndeckschichttypen zu ähnlichen Erhöhungen der Schallpegelwerte pro Jahr, wobei der zweilagige offenporige Asphalt (DLPA 8/16) und der Waschbeton (EACC 11) mit besonders geringen Anstiegen auffallen. Nach einer Liegedauer von 10 oder mehr Jahren weisen nur mehr die beiden Fahrbahndeckschichttypen zweilagiger offenporiger Asphalt (DLPA 8/16) und lärmindernder Splittmastixasphalt (SMA 8, S3) nennenswerte Pegelunterschiede im CPX-Index im Vergleich zur gleich alten Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11 auf (beim CPX-Index für den DLPA 8/16 und den SMA 8, S3 handelt es sich allerdings aufgrund der geringen Datenlage nur um eine Abschätzung).



**Abbildung 5.53:** Erhöhung des CPX-Indexes während der Liegedauer der in Abbildung 5.52 betrachteten Fahrbahndeckschichttypen im Vergleich zum jeweiligen Neuzustand, die schräg strichlierten Balken - für DLPA 8/16 ab einer Liegedauer von 7 Jahren, für SMA 8, S3 für eine Liegedauer > 10 Jahre - stellen Abschätzungen dar (Daten aus [29])

Legende:

DLPA 8/16	.....	zweilagiger offenporiger Asphalt (Größtkorn obere Schicht: 8 mm; Größtkorn untere Schicht: 16 mm)
SMA 8, S3	.....	lärmindernder Splittmastixasphalt (Größtkorn: 8 mm)
PA 11	.....	einlagiger offenporiger Asphalt (Größtkorn: 11 mm)
AC 11 deck	.....	polymermodifizierter Walzasphalt (Größtkorn: 11 mm)
BBTM 8	.....	lärmindernde Dünnschichtdecke (Größtkorn: 8 mm)
SMA 11, S3	.....	lärmindernder Splittmastixasphalt (Größtkorn: 11 mm)
SMA 11	.....	konventioneller Splittmastixasphalt (Größtkorn: 11 mm)
EACC GK 11	.....	Waschbeton (Größtkorn: 11 mm)

## 6. KAPITEL

# GRUNDLAGEN EINES VERFAHRENSABLAUFES FÜR EINE AKUSTISCHE BEWERTUNG VON FAHRBAHNDECKSCHICHTEN

## 6.1 Grundlegende Überlegungen

### 6.1.1 Allgemeines

Ein akustisches Bewertungssystem von Fahrbahndeckschichten stellt die Grundlage für einen effizienten Einsatz von so genannten lärmindernden Fahrbahndeckschichten auf unseren Straßen dar. Erst durch eine klare Einstufung des Lärminderungspotenziales der eingesetzten Fahrbahndeckschichttypen können diese auch effizient als Lärminderungsmaßnahme im Straßenbau eingesetzt werden. Für die zurzeit in Österreich angewandten lärmindernden Fahrbahndeckschichten ist das Lärminderungspotenzial hinreichend bekannt und ebenso durch zahlreiche Messkampagnen bestätigt. Die aus diesen Messungen resultierenden Lärmemissionswerte werden für die Fahrbahndeckschichttypen

- Asphaltbeton,
- offenporiger Asphalt,
- lärmindernder Splittmastixasphalt,
- Splittmastixasphalt,
- Waschbeton und
- lärmoptimierter Waschbeton

in der Richtlinie RVS 04.02.11 der österreichischen Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr als Grundlage zur Lärmausbreitungsberechnung des Straßenverkehrslärms herangezogen [9]<sup>(a)</sup>. Allerdings beziehen sich diese Emissionswerte nur auf Typen von Deckschichten („Deckschichtfamilien“) und nicht auf spezielle Produkte von Fahrbahndeckschichten. Materialtechnische Parameter wie zum Beispiel der Hohlraumgehalt oder der Größtkorndurchmesser spielen bei dieser Einteilung keine entscheidende Rolle, obwohl diese

---

<sup>a</sup>Anmerkung: Die RVS 04.02.11 ist zurzeit (Stand März 2011) in Überarbeitung und soll in weiterer Folge unter anderem durch die Angabe von Emissionswerten von zusätzlichen Fahrbahndeckschichttypen ergänzt werden.

Parameter sehr wohl einen Einfluss auf die zu erwartenden Schallemissionen aufweisen (siehe dazu Abschnitt 2.3.1.4 dieser Arbeit).

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Verfahrensablauf für eine akustische Bewertung der zurzeit in Österreich eingesetzten Fahrbahndeckschichten zu entwickeln. Bei dem zu entwickelnden akustischen Bewertungssystem für lärmindernde Fahrbahndeckschichten soll speziell auf eine exakte technologische Beschreibung der betrachteten Fahrbahndeckschicht im Rahmen der zurzeit gültigen österreichischen Normen und Richtlinien Rücksicht genommen werden. Nur durch eine eindeutige technologische Definition der Fahrbahndeckschicht verknüpft mit durchgeführten Lärmmessungen lassen sich Schlüsse auf das Lärmverhalten dieser definierten Fahrbahndeckschicht ziehen.

### 6.1.2 Theorie der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten

Unter einem akustischen Bewertungssystem von Fahrbahndeckschichten wird prinzipiell eine lärmemissionsbedingte Einstufung einer exakt definierten Fahrbahndeckschicht verstanden. Um diese akustische Bewertung der Fahrbahndeckschicht möglichst realitätsnah zu gestalten, ist das Verhalten der Fahrbahndeckschicht über ihre gesamte Lebensdauer zu betrachten. Aus diesem Grund sollte sich ein effizientes akustisches Bewertungssystem von Fahrbahndeckschichten in drei zeitlich voneinander getrennte Abläufe gliedern:

1. die akustische Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht (im Rahmen der Erstprüfung)
2. die akustische Qualitätskontrolle der klassifizierten Fahrbahndeckschicht (im Rahmen der Abnahmeprüfung)
3. das akustische Monitoring der akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht über ihre Lebensdauer (im Rahmen von kontinuierlich durchzuführenden Prüfungen)

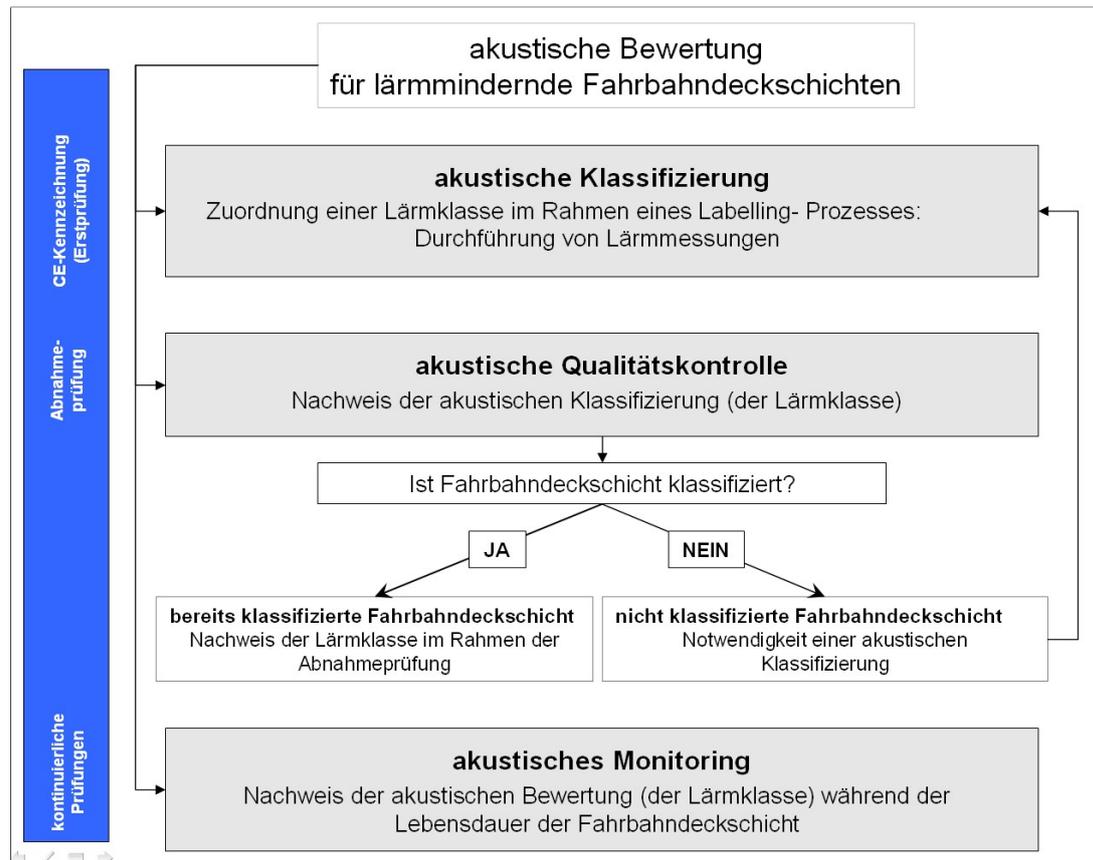
In einem ersten Schritt wird bei der akustischen Klassifizierung (dem so genannten "Labelling") von Fahrbahndeckschichten in einem Feldversuch durch einen definierten Ablauf von Lärmmessungen einer Fahrbahndeckschicht eine Lärmklasse zugeordnet, die ihr Lärminderungspotenzial im Vergleich zu einer Referenzfahrbahndeckschicht beschreibt. Diese akustische Klassifizierung der lärmindernden Fahrbahndeckschicht kann schließlich ohne größeren Aufwand in die Konformitätserklärung des Deckschichtherstellers im Rahmen der Erstprüfung integriert werden.

Bei der akustischen Qualitätskontrolle einer bereits klassifizierten Fahrbahndeckschicht wird die bei der akustischen Klassifizierung bestimmte Lärmklasse auf ihre Richtigkeit überprüft. Dafür ist eine Vorgehensweise der Abnahmeprüfung zu entwickeln, bei der jene materialtechnischen Parameter zu überprüfen sind, die größtenteils für die Entstehung der Lärmemissionen verantwortlich zeigen. Diese Überprüfung ist direkt nach Deckschichtlegung durchzuführen und ersetzt im Falle eines positiven Ausgangs die Anwendung von Lärmmessungen zum Nachweis der Lärmemissionswerte (bzw. der Lärmklasse) der überprüften Fahrbahndeckschicht.

Lärmindernde Fahrbahndeckschichten weisen ein je nach Bauweise (offenporige oder dichte Fahrbahndeckschichttypen) unterschiedliches akustisches Langzeitverhalten auf (siehe dazu Abschnitt 5.7 dieser Arbeit). Um dieses Verhalten auch in der akustischen

Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten mitberücksichtigen zu können, ist es notwendig, in regelmäßigen Abständen das Lärminderungspotenzial der zu beurteilenden Fahrbahndeckschicht zu überprüfen bzw. nachzuweisen. Dies erfolgt im dritten Schritt der akustischen Bewertung, dem so genannten akustischen Monitoring.

Erst die Kombination dieser drei beschriebenen Verfahrensabläufe ergibt schließlich ein komplettes akustisches Bewertungssystem für lärmindernde Fahrbahndeckschichten. Der vorgeschlagene Ablauf einer akustischen Bewertung für Fahrbahndeckschichten ist in Abbildung 6.1 schematisch dargestellt.



**Abbildung 6.1:** Schema der Vorgehensweise bei der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten

Bei einer praktischen Umsetzung dieser akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten können nun 2 verschiedene Fälle auftreten:

*Fall 1 - Bei dem zu bewertenden Produkt handelt es sich um eine neu entwickelte Deckschichtrezeptur:* Dem Produkt ist durch vorgeschriebene Lärmmessungen im Rahmen der akustischen Klassifizierung eine Lärmklasse zuzuordnen. Bei einer weiteren Anwendung dieses dann bereits akustisch klassifizierten Produktes tritt Fall 2 in Kraft.

*Fall 2 - Bei dem zu bewertenden Produkt handelt es sich um eine bereits akustisch klassifizierte Fahrbahndeckschicht:* Die Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht ist im Rahmen einer akustischen Qualitätskontrolle (durch Einhaltung gewisser Toleranzen für spezielle Materialparameter der Fahrbahndeckschicht) nachzuweisen. Kann dieser Nachweis erbracht werden, so gilt Fall 2a, ist der Nachweis nicht möglich, kommt Fall 2b zur Anwendung.

*Fall 2a:* Entsprechen die Materialparameter bei der im Rahmen der "akustischen Qualitätskontrolle" zu bewertenden Fahrbahndeckschicht den für die "akustische Erstprüfung"

angegebenen Grenzwerten, so gilt dies als Nachweis für die Einhaltung des entsprechenden Lärmemissionswertes. Dieses Produkt kann dann aufgrund seiner Materialparameter akustisch eindeutig klassifiziert werden, bzw. der bereits klassifizierten Lärmklasse zugeordnet werden. Als Folge daraus sind keine weiteren Lärmmessungen zum Nachweis des Lärminderungspotenziales der bewerteten Fahrbahndeckschicht notwendig.

*Fall 2b:* Können die bei der “akustischen Erstprüfung“ geforderten Grenzwerte der Materialparameter nicht eingehalten werden, so kann die untersuchte Fahrbahndeckschicht nicht der ihr ursprünglich zugewiesenen Lärmklasse zugeordnet werden. Somit ist der automatische Nachweis des Lärminderungspotenziales (der Lärmklasse) der bewerteten Fahrbahndeckschicht nicht gegeben und es sind zusätzliche Lärmmessungen durchzuführen. Ist der Nachweis nach Durchführung der Lärmmessungen nicht möglich, sind Qualitätsabzüge oder auch bautechnische Maßnahmen, wie zum Beispiel eine Neuherstellung der Strecke, je nach vertraglicher Regelung möglich.

### 6.1.3 Vorteile einer akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten

Der bedeutende Vorteil eines akustischen Bewertungssystems für verschiedene lärm-mindernde Fahrbahndeckschichttypen ist durch eine Vereinheitlichung der Beurteilung der Lärmemission dieser Fahrbahndeckschichten gegeben. Durch eine klar definierte akustische Bewertung lässt sich eine eindeutige lärmtechnische Einteilung der heutzutage angewandten Fahrbahndeckschichttypen erreichen.

Nutznieser eines solchen Bewertungssystems können sowohl einerseits ausführende Firmen sowie Hersteller und Entwickler von Fahrbahndeckschichten als auch andererseits Auftraggeber sowie politische Entscheidungsträger sein.

Ein eindeutig akustisch eingestuftes Produkt lässt sich für den Hersteller leichter als “lärmmindernd“ auf dem Markt platzieren. Somit können neue Entwicklungen und Mischgutzusammensetzungen einfacher durchzusetzen sein.

Im Gegensatz dazu wird es durch ein akustisches Bewertungssystem für lärm-mindernde Fahrbahndeckschichten für die in der Straßenplanung und -erhaltung Verantwortlichen möglich, auf genau definierte Fahrbahndeckschichten zurückzugreifen und diese in ihrer Planung zu berücksichtigen.

Weiters können politische Entscheidungsträger dieses akustische Bewertungssystem als handfestes Argument für eine effiziente Lärmschutzplanung nutzen (zum Beispiel als Grundlage für etwaige Lärmausbreitungsberechnungen).

## 6.2 Anforderungen an ein System zur akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten

### 6.2.1 Generelle Anforderungen an ein akustisches Bewertungssystem

Ein Bewertungssystem sollte primär leicht verständlich, praktisch durchführbar und vor allem kostengünstig ausführbar sein. Im Fall der akustischen Bewertung von lärm-mindernden

Fahrbahndeckschichten sollen auf diese Art und Weise folgende Aufgaben erfüllt werden:

- akustische Produktbeschreibung,
- akustische Qualitätskontrolle und
- akustisches Monitoring über die Lebensdauer der Fahrbahndeckschicht.

Um eine eindeutige Durchführbarkeit des akustischen Bewertungssystems zu gewährleisten, ist es notwendig, auf normierte Messmethoden als Grundlage zurückzugreifen, da nur durch den Einsatz von im Detail festgelegten Messmethoden die Eindeutigkeit (und auch die Wiederholbarkeit) der erzielten Messergebnisse sichergestellt werden kann. Ebenso sollten die durchzuführenden Messungen und Analysen möglichst "einfach" (mit möglichst geringem Aufwand und mit möglichst geringen Kosten) und in einem überschaubaren zeitlichen Horizont ausführbar sein.

Die generellen Anforderungen, die an ein funktionierendes akustisches Bewertungssystem für lärmindernde Fahrbahndeckschichten gestellt werden müssen, lassen sich somit folgendermaßen zusammenfassen:

- die Verständlichkeit muss gegeben sein,
- die praktische Anwendbarkeit muss gegeben sein,
- normkonforme Messungen und Analysen müssen durchführbar sein,
- die Homogenität der Messungen muss gewährleistet sein (durch Auswahl einer geeigneten Teststrecke) und
- die Wiederholbarkeit der Messungen muss gewährleistet sein (durch Anwendung normierter Messmethoden).

### **6.2.2 Spezifische Anforderungen an eine akustische Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten**

Ein akustisches Bewertungssystem von lärmindernden Fahrbahndeckschichten hat neben den generellen auch noch weiterführende Anforderungen zu erfüllen, die sowohl die Beschreibung der Fahrbahndeckschicht als auch die Durchführung der akustischen Bewertung und deren Nachweise betreffen. Dies gilt vor allem für folgende Schwerpunkte:

- die Art und Weise der Durchführung der Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht
- die Definition der dafür notwendigen Teststrecke
- die Art und Weise der Durchführung einer akustischen Qualitätskontrolle
- die detaillierte Beschreibung der bewerteten Fahrbahndeckschicht

Im Rahmen einer akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten ist es notwendig, die Vorgehensweise für eine Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht genau zu definieren. Darunter fällt eine Beschreibung der anzuwendenden Methoden - Messungen und/oder analytische Methoden - und, wenn notwendig, eine Beschreibung der Teststrecke, an der die Messungen durchgeführt werden. Prinzipiell sollte dabei vermieden werden, neben den Messungen weiterführende Berechnungen durchführen zu müssen oder Messungen durch Berechnungen zu ersetzen. Die Teststrecke sollte ihren Anforderungen nach genau beschrieben und grundlegend auf Homogenität überprüft werden.

Ein akustisches Bewertungssystem von lärmindernden Fahrbahndeckschichten sollte als Weiterführung der klassischen Zertifizierung einer Fahrbahndeckschicht eine akustische Klassifizierung, sprich, eine Einordnung der Fahrbahndeckschicht in definierte Lärmklassen, ermöglichen. Diese Bewertung sollte nicht nur für Fahrbahndeckschichten im Neuzustand geschehen, sondern auch auf das Lärmverhalten der Fahrbahndeckschicht über die Lebensdauer eingehen und dezidiert zwischen einer lärmtechnischen und einer materialtechnischen Lebensdauer unterscheiden. Allerdings kann zur Zeit bei der Beurteilung des Alterungsverhaltens vieler Fahrbahndeckschichten aufgrund von mangelnden Lärmmessungen nur von Abschätzungen gesprochen werden. Dasselbe gilt ebenso für eine neu entwickelte Deckschichtrezeptur, da auch hier noch keine Messergebnisse vorhanden sein können.

Unumgänglich für eine akustische Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten ist eine detaillierte Beschreibung des Mix- Designs der Fahrbahndeckschicht. Nur somit kann festgelegt werden, für welche Mischgutzusammensetzung diese akustische Bewertung gültig ist.

Des Weiteren sind im akustischen Bewertungssystem jene Materialparameter anzugeben, die größtenteils für die Entstehung der Lärmemissionen verantwortlich sind. Für diese Materialparameter sind Toleranzen zu definieren, die einen Verbleib in der klassifizierten Lärmklasse gewährleisten können.

Nach der Durchführung der akustischen Klassifizierung bzw. der Beurteilung des akustischen Alterungsverhaltens einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht sind die Ergebnisse in einem definierten Formular festzuhalten. Die in diesem Formular anzugebenden Informationen und Daten sind im Bewertungssystem detailliert zu beschreiben.

Die Anforderungen an ein akustisches Bewertungssystem von lärmindernden Fahrbahndeckschichten sind im Folgenden zusammengefasst:

Anforderungen an die akustische Bewertung:

- Vorhandensein einer genau definierten Vorgehensweise der akustischen Bewertung
- Beschreibung der anzuwendenden Methoden (Messungen und/oder analytische Berechnungen)
- Definition der Vorgehensweise bei der akustischen Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht - Einteilung in Lärmklassen
- Definition der Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle der Fahrbahndeckschicht - Nachweis der Lärmklassen
- Definition der Vorgehensweise bei der Abschätzung des akustischen Alterungsverhaltens der Fahrbahndeckschicht
- Definition eines festgelegten Formulars zur akustischen Bewertung der Fahrbahndeckschicht

Anforderungen an die akustische Qualitätskontrolle:

- Vorhandensein einer genau definierten Vorgehensweise
- Beschreibung der anzuwendenden Methoden (Messungen und/oder analytische Berechnungen)
- Integration der akustischen Qualitätskontrolle in die Abnahmeprüfung

Anforderungen an die Teststrecke:

- definierte Länge der Teststrecke und Lage der Messpunkte
- Homogenität der Teststrecke

Anforderungen an die Charakterisierung der Fahrbahndeckschicht:

- detaillierte Beschreibung der Deckschichtrezeptur gem. den gültigen Normen und Richtlinien
- Angabe der Materialparameter, die größtenteils für die Entstehung der Lärmemissionen verantwortlich sind
- Angabe von Toleranzen für diese Materialparameter
- Abschätzung des Alterungsverhaltens der Fahrbahndeckschicht

## 6.3 System einer akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten im EU-Projekt SILVIA

### 6.3.1 Allgemeines

Im Rahmen des EU-Projektes SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control) [1] wurde erstmals ein Vorschlag für ein akustisches Bewertungssystem für lärmindernde Fahrbahndeckschichten entwickelt. Dieser Vorschlag ist als offizieller Projektoutput im Deliverable D17 des Projektes veröffentlicht (siehe [135])<sup>(b)</sup>. Das entwickelte System stellt allerdings kein komplettes Bewertungssystem dar, sondern legt das Hauptaugenmerk auf die akustische Klassifizierung einer neuen Fahrbahndeckschicht (einer neu entwickelten Deckschichtrezeptur). Somit kann es allenfalls als Arbeitsgrundlage für eine nationale Umsetzung dienen.

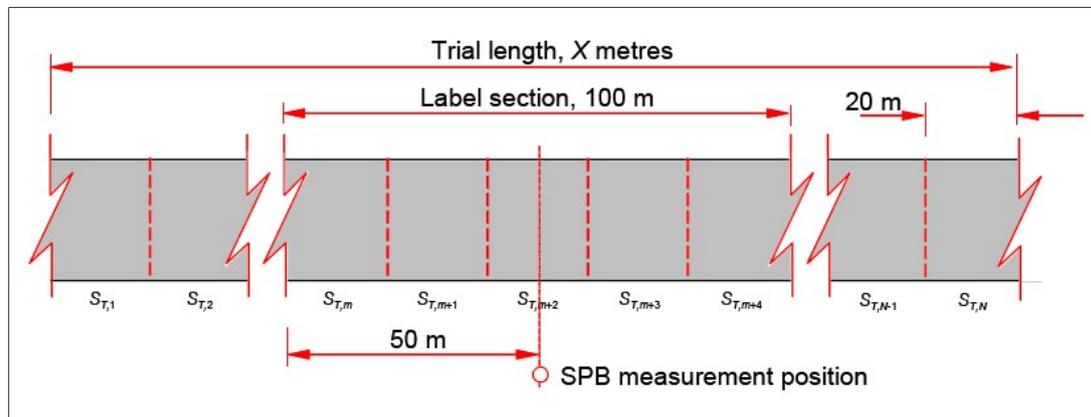
Grundlage für die akustische Klassifizierung einer neu entwickelten Fahrbahndeckschicht nach dem SILVIA-Modell stellen durchgeführte Lärmmessungen an mehreren Teststrecken dar. Eine komplette Messserie muss an mindestens 5 verschiedenen Teststrecken stattfinden, um auch die Unregelmäßigkeiten beim Einbau mitberücksichtigen zu können.

Prinzipiell ist dabei zwischen der Teststrecke (“Trial length“) und der Messstrecke (“Label section“) zu unterscheiden. Die Teststrecke stellt die gesamte eingebaute Fahrbahndeckschichtlänge dar, während die Messstrecke die Länge definiert, an der die Messungen stattzufinden haben. Die Teststrecke hat eine Länge von mind. 140 m aufzuweisen, wobei die ersten und letzten 20 m nicht für Lärmmessungen herangezogen werden dürfen, damit angrenzende Fahrbahndeckschichten keinen Einfluss auf das Messergebnis nehmen können. Ebenso wird eine maximale Länge von 1.000 m vorgeschlagen, da diese Länge als ausreichend für die Bestimmung der Homogenität angesehen wird. Längere Strecken würden die Genauigkeit nicht erhöhen und zu höheren Material- und Einbaukosten führen. Die Vorbeifahrtmessungen (SPB) sind in der Mitte der Messstrecke (“Label section“) durchzuführen,

---

<sup>b</sup>Anmerkung: Deliverable D17 des EU-Projektes SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control) ist frei verfügbar und kann von der Projekt-Homepage “<http://www.trl.co.uk/silvia/>“ heruntergeladen werden.

während die Rollgeräuschmessungen (CPX) über die gesamte Messstrecke stattfinden. Die Auswertung der CPX-Messungen erfolgt schließlich in 20-m-Abschnitten. Die gesamte Teststrecke (“Trial length“) hat dabei die Messstrecke an beiden Seiten um mindestens 20 m zu überschreiten. Abbildung 6.2 zeigt die Ausbildung einer Teststrecke mit den zugehörigen Messpunkten.



**Abbildung 6.2:** Definition der Teststrecke für die Durchführung von Vorbeifahrtmessungen (SPB) bzw. Rollgeräuschmessungen (CPX) [135]

Der SILVIA-Ansatz sieht 2 verschiedene Möglichkeiten für eine akustische Klassifizierung von neu entwickelten Fahrbahndeckschichten vor:

- *LABEL1*: Labelling (Klassifizierung) aufgrund von SPB- und CPX-Messungen, und
- *LABEL2*: Labelling (Klassifizierung) aufgrund von SPB-Messungen mit zusätzlichen Untersuchungen der Fahrbahndeckschicht (Textur und/oder Absorption).

Tabelle 6.1 zeigt die vorgeschlagenen Messmethoden bei der akustischen Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten<sup>(c)</sup>.

**Tabelle 6.1:** Vorgeschlagene Messmethoden bei der akustischen Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten im EU-Projekt SILVIA [135]

LABEL	METHOD OF ASSESSMENT FOR DIFFERENT ROAD SURFACES		
	Dense Graded	Open Graded	
	Rigid (*)	Rigid (*)	Elastic
LABEL1 (preferred)	SPB	SPB	SPB
	CPX	CPX	CPX
LABEL2	SPB	SPB	SPB
	Texture	Texture	Texture
		Absorption	Absorption
			Mechanical Impedance

(\*) Rigid surfaces are defined as normal asphalt (dense and open graded) and concrete

<sup>c</sup>Anmerkung: Messungen der mechanischen Impedanz sind für elastische Fahrbahndeckschichttypen, wie zum Beispiel “poroelastische Fahrbahndeckschichten“, vorgesehen, die sich heutzutage erst in der Entwicklungsphase befinden und auf dem europäischen Straßennetz (noch) nicht eingesetzt werden. Es wird daher im Rahmen dieser Arbeit nicht näher auf diesen Fahrbahndeckschichttyp (und damit auf mögliche Messmethoden der mechanischen Impedanz) eingegangen.

Die Grundlage für beide Lärm-Labels stellt die Messmethode der statistischen Vorbeifahrt gem. ISO 11819-1 [74] dar. Da diese Messungen nur punktuell durchführbar sind, erscheint es sinnvoll, die Homogenität der Teststrecke mithilfe von Rollgeräuschmessungen nachzuweisen (LABEL1). Sind diese nicht möglich oder können aus anderen Gründen nicht durchgeführt werden, ist es auch erlaubt, stattdessen Texturmessungen ergänzt durch Absorptionsmessungen durchzuführen (LABEL2). Allerdings ist dann eine Umrechnung der Messergebnisse auf dB(A)-Werte zur besseren Vergleichbarkeit notwendig. Somit stellt die LABEL1-Methode die bevorzugte Vorgehensweise dar.

### 6.3.2 Labelling-Prozedur im SILVIA-Bewertungssystem

#### 6.3.2.1 LABEL1-Prozedur

Abbildung 6.3 zeigt das Ablaufdiagramm zur Ermittlung der LABEL1-Werte.

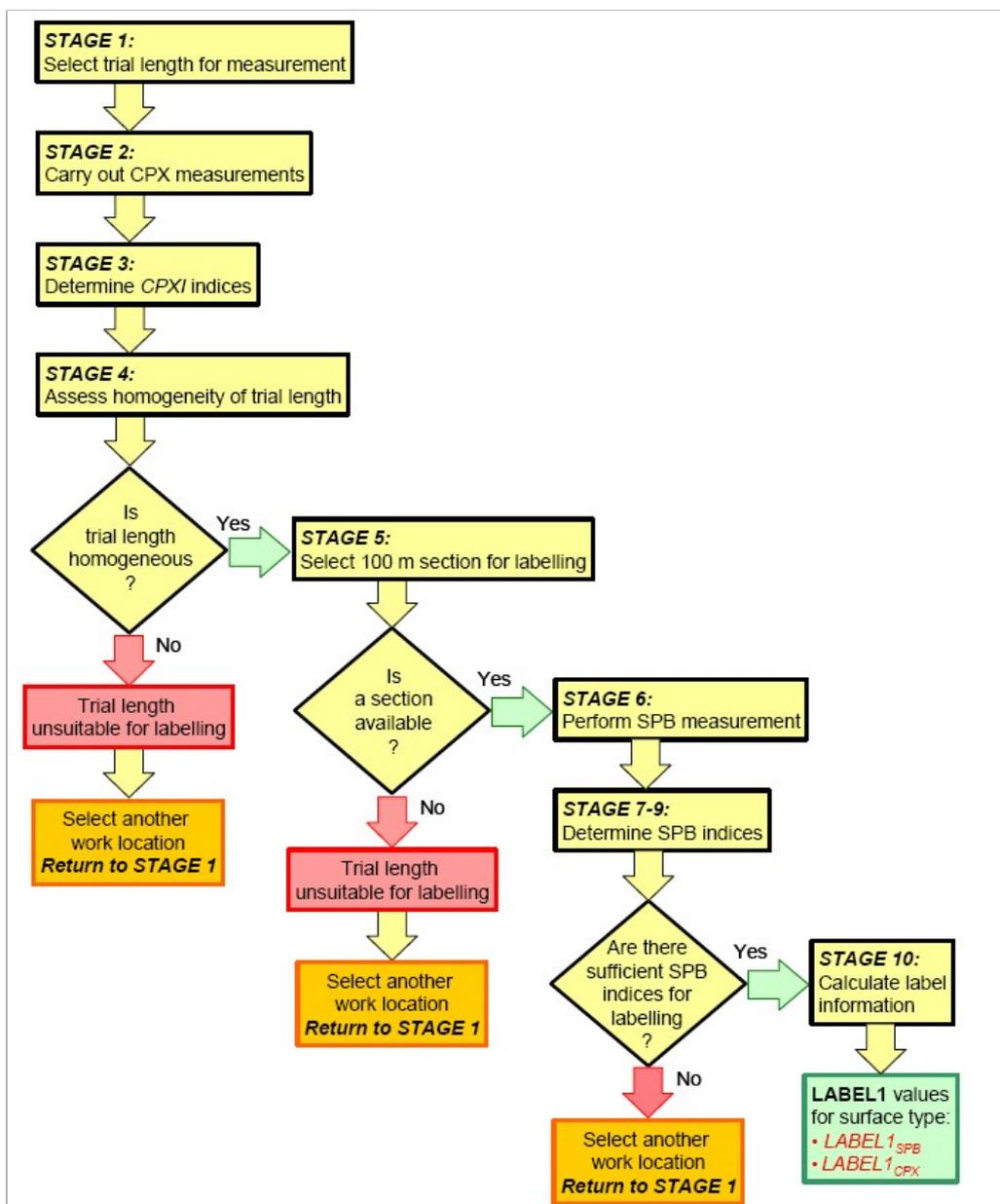


Abbildung 6.3: Vorgehensweise zur Ermittlung der LABEL1-Werte im EU-Projekt SILVIA [135]

Das Verfahren zur Bestimmung der beiden LABEL1- Werte  $LABEL1_{SPB}$  und  $LABEL1_{CPX}$  basiert auf der Durchführung von kombinierten Rollgeräuschmessungen und Vorbeifahrtmessungen. Die durchzuführenden Rollgeräuschmessungen sind gem. ISO/CD 11819-2 [28] als Abnahmemessungen (Verwendung von 4 Teststreifen) durchzuführen, siehe dazu Abschnitt 4.2.2, Formel (4.4), die Vorbeifahrtmessungen gem. ISO 11819-1 [74], siehe dazu Abschnitt 4.3, Formel (4.7). Die Messungen sind auf einer Teststrecke, die schematisch in Abbildung 6.2 dargestellt ist, durchzuführen.

Die Vorgehensweise des in [135] vorgestellten Labellings (LABEL1) gliedert sich in insgesamt 10 Arbeitsschritte, die im Folgenden beschrieben werden:

*Schritt 1: Auswahl einer geeigneten Teststrecke:* Idealerweise wird speziell für das akustische Labelling eine Teststrecke mit einer neuen Fahrbahndeckschicht gelegt. Es kann aber auch eine bereits existierende Strecke als Teststrecke verwendet werden, allerdings muss es sich dabei um eine neue Fahrbahndeckschicht vor der Verkehrsfreigabe handeln (Anmerkung: diese Möglichkeit kann vor allem für bereits genormte Mischgutzusammensetzungen genutzt werden).

*Schritt 2: Durchführung der Rollgeräuschmessungen:* Die Rollgeräuschmessungen werden gem. ISO/CD 11819-2 [28] für 4 verschiedene Teststreifen (Abnahmemessungen) durchgeführt, die Auswertung erfolgt dabei in  $n$  20 m-Segmenten. Insgesamt müssen 10 Segmente ausgewertet werden (ist die Messstrecke 100 m lang, so sind also 2 Rollgeräuschmessungen über die gesamte Messstrecke notwendig).

*Schritt 3: Berechnung des CPX-Indexes:* Für jedes gemessene Segment  $n$  wird ein CPX-Index  $CPXI_{ST,n}$  berechnet. Weiters wird der mittlere CPX-Index über die gesamte Messstrecke folgendermaßen berechnet:

$$CPXI_{Average} = \frac{\sum_n CPXI_{ST,n}}{n}, n \geq 10 \quad (6.1)$$

*Schritt 4: Bestimmung der Homogenität der Teststrecke:* Für den Nachweis der Homogenität der Teststrecke wird der CPX-Index jedes einzelnen Segments  $CPXI_{ST,n}$  herangezogen. Die einzuhaltende Toleranz von  $\pm 0,5$  dB(A) jedes einzelnen Indices  $CPXI_{ST,n}$  bezieht sich dabei auf den mittleren CPX-Index der gesamten Messstrecke  $CPXI_{Average}$  (siehe Tabelle 6.2).

**Tabelle 6.2:** Toleranzen zum Nachweis der Homogenität der Teststrecke [135]

MEASUREMENT TYPE	HOMOGENEITY INDICATOR	TOLERANCE LIMIT	TOLERANCE REQUIREMENT	SEGMENT LENGTH
CPX Investigative method	CPXI	0,5 dB(A) peak-to-peak around mean value	90% of 20 m segments to be within tolerance	20 m

Fallen mehr als 10% aller  $CPXI_{ST,n}$  nicht in den Toleranzbereich, so ist diese Teststrecke nicht zum Labelling der Fahrbahndeckschicht geeignet und es ist entweder eine neue Teststrecke herzustellen oder eine andere Teststrecke zu suchen. Werden die geforderten Toleranzen eingehalten, so kann mit Schritt 5 des Labelling-Prozesses fortgefahren werden.

*Schritt 5: Auswahl der Messstrecke für die Vorbeifahrtmessungen:* Innerhalb der Teststrecke muss nun ein 100 m- Abschnitt zur Bestimmung der LABEL1- Werte ausgewählt werden, indem alle 20 m- Segmente innerhalb des Toleranzbereiches liegen (siehe Tabelle 6.3).

**Tabelle 6.3:** Toleranzen zum Nachweis der Homogenität der Labelling- Strecke [135]

MEASUREMENT TYPE	HOMOGENEITY INDICATOR	TOLERANCE LIMIT	TOLERANCE REQUIREMENT	SEGMENT LENGTH
CPX Investigative method	CPXI	0,5 dB(A) peak-to-peak around mean value	all 20 m segments to be within tolerance	20 m

Existiert auf der Teststrecke kein solcher 100 m- Abschnitt, so muss eine neue Teststrecke gefunden werden.

*Schritt 6: Durchführung der Vorbeifahrtmessungen:* In der Mitte des 100 m- Abschnittes wird eine Vorbeifahrtmessung gem. ISO 11819-1 [74] durchgeführt.

*Schritte 7- 9: Berechnung der SPB- Indices:* Für jede der drei Fahrzeugkategorien  $m$  (Pkw, zweiachsige Lkw und mehrachsige Lkw) wird für die jeweilige Referenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$  der maximale Vorbeifahrtpegel  $L_{Amax,m,vref}$  berechnet. Für ein gültiges Labelling sind dabei je Fahrzeugkategorie mindestens 2 Vorbeifahrtmessungen an Strecken mit demselben Geschwindigkeitsniveau (dieselbe Referenzgeschwindigkeit) notwendig. Eine Fahrbahndeckschicht wird somit je Fahrzeugkategorie und Geschwindigkeitsniveau klassifiziert. Soll eine Fahrbahndeckschicht für einen größeren Geschwindigkeitsbereich ( $40 \leq v_{ref} \leq 110$  km/h nach [135]) je Fahrzeugkategorie klassifiziert werden, so sind mindestens 5 Vorbeifahrtmessungen an Strecken mit unterschiedlichem Geschwindigkeitsniveau notwendig. Aus diesen Messergebnissen kann dann ein ausreichend genauer Zusammenhang zwischen Maximalpegel und Referenzgeschwindigkeit bestimmt werden.

*Schritt 10: Bestimmung der LABEL1- Werte:* Aus den Messergebnissen der Rollgeräuschmessungen und der Vorbeifahrtmessungen werden schließlich die beiden LABEL1- Werte  $LABEL1_{SPB}$  und  $LABEL1_{CPX}$  berechnet. Die Berechnung des  $LABEL1_{SPB}$  erfolgt dabei jeweils mit den Mittelwerten der (mindestens 2) durchgeführten Messungen  $i$  der Maximalvorbeifahrtpegel der drei Fahrzeugkategorien Pkw ( $L_1$ ), zweiachsige Lkw ( $L_{2a}$ ) und mehrachsige Lkw ( $L_{2b}$ ) bei der jeweiligen Referenzgeschwindigkeit  $v_1$ ,  $v_{2a}$  und  $v_{2b}$  nach der Formel:

$$LABEL1_{SPB} = 10 \cdot \lg \left[ W_1 \cdot 10^{L_1/10} + W_{2a} \cdot \left( \frac{v_1}{v_{2a}} \right) \cdot 10^{L_{2a}/10} + W_{2b} \cdot \left( \frac{v_1}{v_{2b}} \right) \cdot 10^{L_{2b}/10} \right] \quad (6.2)$$

mit:

$W_1, W_{2a}$  und  $W_{2b}$  ..... Gewichtungsfaktoren für die Verkehrszusammensetzung gem. ISO 11819-1 (siehe dazu Tabelle 4.3 aus Abschnitt 4.3 dieser Arbeit)

$$L_{1,2a,2b} = \frac{\sum_i L_{Amax,m,vref,i}}{i}, i \geq 2 \quad (6.3)$$

Die Berechnung des  $LABEL1_{CPX}$  erfolgt für den ausgewählten 100 m-Abschnitt aus der Formel (6.1):

$$LABEL1_{CPX} = CPXI_{Average} \quad (6.4)$$

### 6.3.2.2 LABEL2-Prozedur

Das Verfahren zur Bestimmung der LABEL2-Werte basiert auf der Durchführung von Vorbeifahrtmessungen kombiniert mit weiteren Messmethoden, die zur Abschätzung des Geräuschpegels herangezogen werden können. Dabei handelt es sich bei dichten Fahrbahndeckschichttypen um Texturmessungen und bei offenporigen Fahrbahndeckschichttypen um Absorptionsmessungen. Durch diese statischen bzw. auch dynamischen Messungen soll, wie bei der LABEL1-Prozedur durch die Durchführung von Rollgeräuschmessungen, die Homogenität der Teststrecke festgestellt werden.

Bei der LABEL2-Prozedur ergibt sich allerdings ein eindeutiger Nachteil im Vergleich zur LABEL1-Prozedur. Bei der Durchführung von Textur- und Absorptionsmessungen lässt sich die Schallemission nicht direkt erfassen, es ist also eine Umrechnung mithilfe von speziellen Algorithmen notwendig. Diese Algorithmen sind zwar entwickelt und getestet, implizieren aber immer gewisse zusätzliche Ungenauigkeiten (neben den Messungenauigkeiten, die bei jeder Messmethode auftreten).

Die Vorbeifahrtmessungen sind gem. ISO 11819-1 [74] durchzuführen, die Texturmessungen gem. ISO 13473-1 [33], gem. ISO 13473-3 [136] und gem. ISO/CD TS 13473-4 [137] und die Absorptionsmessungen gem. ISO 13472-1 [138] (Extended Surface Method). Die Messstrecke für die Durchführung der statischen Messungen ist schematisch in Abbildung 6.4 dargestellt, diejenige für dynamische Messungen ist genau gleich wie bei der LABEL1-Prozedur definiert (siehe Abbildung 6.2).

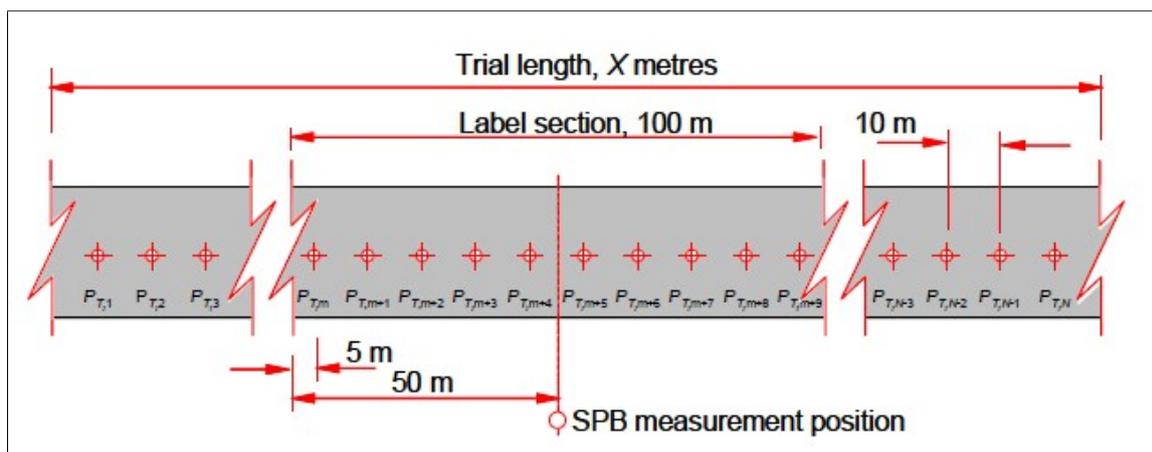


Abbildung 6.4: Definition der Teststrecke für die Durchführung der statischen Messungen der LABEL2-Prozedur [135]

Die Abbildungen 6.5 und 6.6 zeigen das Ablaufdiagramm bei der Ermittlung der vier LABEL2-Werte  $LABEL2_{SPB}$ ,  $LABEL2_{CPX}$ ,  $LABEL2_{Texture}$  und  $LABEL2_{Absorption}$ .

Die Vorgehensweise des in [135] vorgestellten Labellings (LABEL2) gliedert sich in insgesamt 17 Arbeitsschritte, wobei die Durchführung und Auswertung der Vorbeifahrtmessungen in derselben Art und Weise wie bei der LABEL1-Prozedur stattfindet.

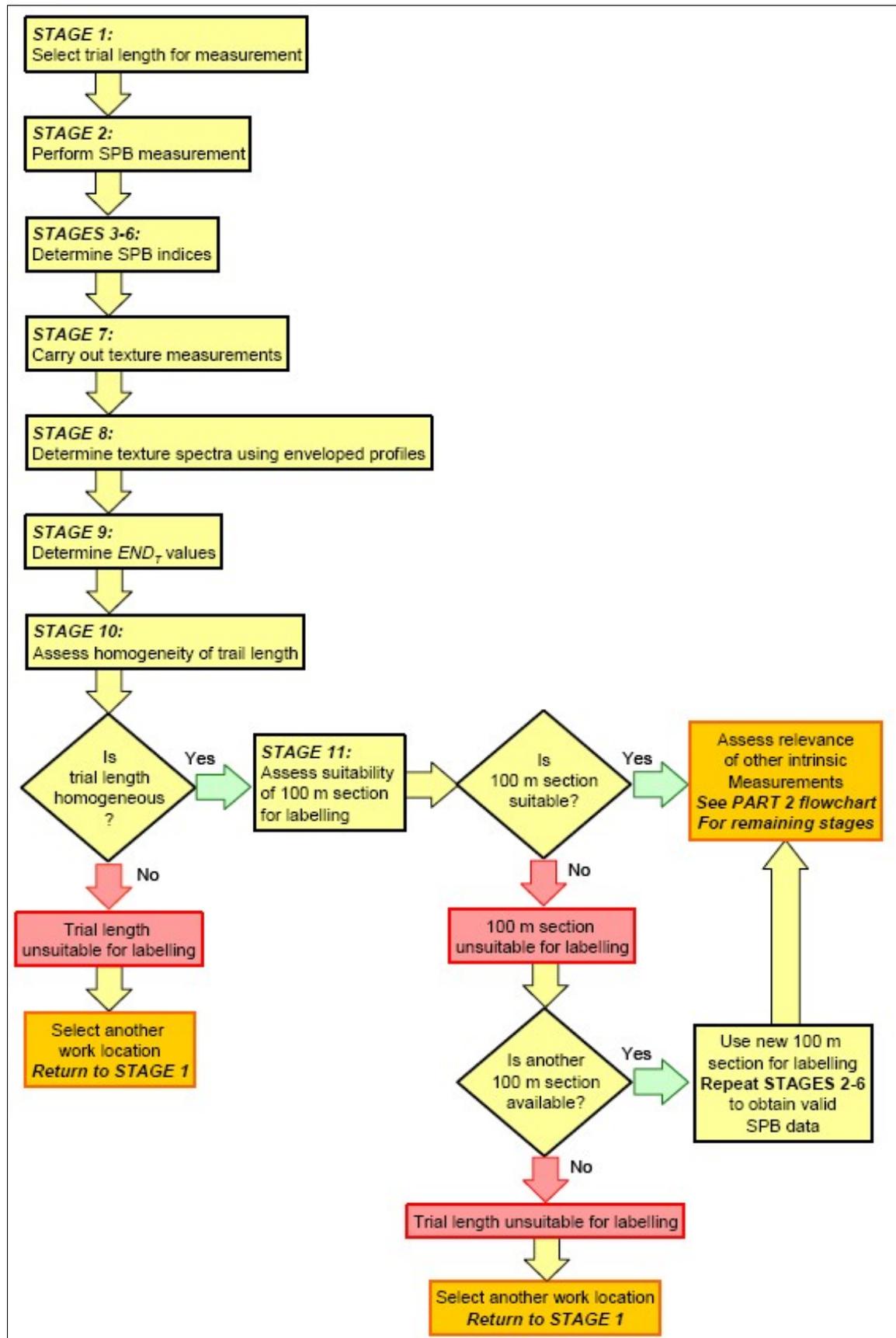


Abbildung 6.5: Vorgehensweise bei der Ermittlung der LABEL2-Werte im EU-Projekt SILVIA (Teil 1) [135]

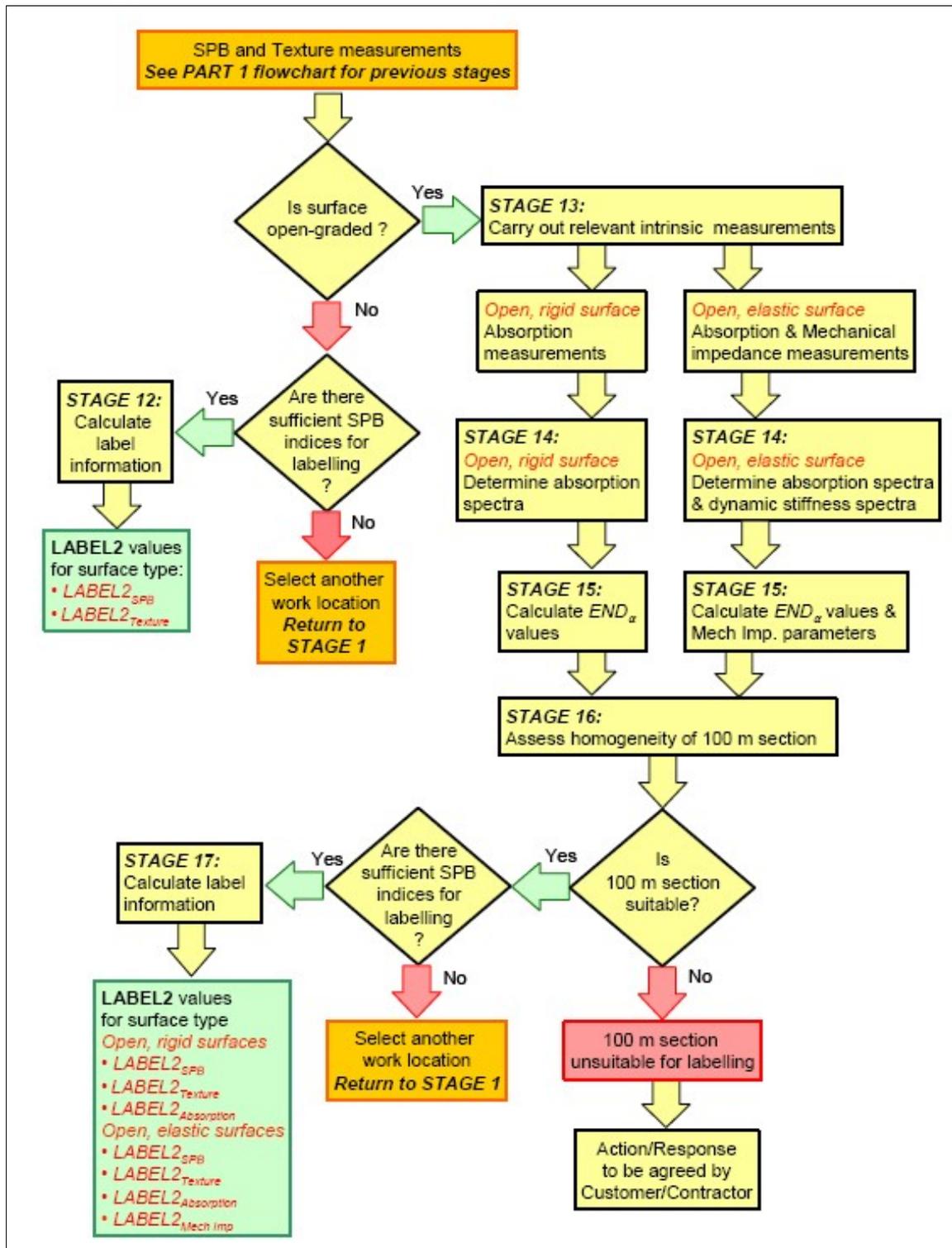


Abbildung 6.6: Vorgehensweise bei der Ermittlung der LABEL2- Werte im EU-Projekt SILVIA (Teil 2) [135]

Im Folgenden wird die LABEL2- Vorgehensweise beschrieben:

*Schritt 1: Auswahl einer geeigneten Teststrecke:* Wie bei der LABEL1-Prozedur wird idealerweise speziell für das akustische Labelling eine neue Fahrbahndeckschicht auf der Teststrecke gelegt.

*Schritt 2: Durchführung der Vorbeifahrtmessungen:* Auf der gewählten Teststrecke wird eine Vorbeifahrtmessung gem. ISO 11819-1 [74] an einem für die gesamte Strecke repräsentativen

Messpunkt durchgeführt.

*Schritte 3-6: Berechnung der SPB-Indices:* Für jede der drei Fahrzeugkategorien  $m$  (Pkw, zweiachsige Lkw und mehrachsige Lkw) wird für die jeweilige Referenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$  der maximale Vorbeifahrtpegel  $L_{Amax,m,vref}$  wie bei der LABEL1- Prozedur berechnet (siehe dazu Schritte 7-9 aus Abschnitt 6.3.2.1 dieser Arbeit).

*Schritt 7: Durchführung der Texturmessungen:* Die Messungen der Oberflächentextur werden gem. ISO 13473-3 [136] durchgeführt bzw. gem. ISO 13473-1 [33] ausgewertet. Die Auswertung erfolgt für mobile Messungen jeweils in 20 m-Segmenten ( $S_{T,n}$ ). Insgesamt müssen 10 Segmente ausgewertet werden, somit ist eine Messstrecke mit einer Mindestlänge von 200 m erforderlich (einzelne Segmente können aber doppelt gemessen werden). Die statischen Messungen sind in einem Abstand von 10 m an den in Abbildung 6.4 definierten Messpunkten  $P_{T,n}$  durchzuführen. Insgesamt sind mindestens 10 statische Messungen vorgeschrieben.

*Schritt 8: Berechnung der Texturspektren:* Für die Berechnung der Texturspektren wird die von Klein und Hamet entwickelte Methode der “umhüllenden Texturprofile“ angewandt (Details siehe [139]). Dabei werden die Terzbandtexturspektren  $L_{eT,i,S_{T,n}}$  für jedes 20 m-Segment  $S_{T,n}$  bzw.  $L_{eT,i,P_{T,n}}$  für jeden Messpunkt  $P_{T,n}$  in den Terzbändern  $i$  berechnet. Durch lineare Mittelwertbildung kann schließlich das mittlere Texturspektrum  $L_{eT,i,Average}$  bestimmt werden.

*Schritt 9: Berechnung des abgeschätzten “Textur-Lärmpegels“:* Klein und Hamet haben in [140] eine Methode zur Berechnung des Faktors  $END_T$  entwickelt, die im SILVIA-Verfahren angewandt wird. Dabei wird die Differenz des Vorbeifahrtpegels durch Änderung der Texturwerte abgeschätzt (Details zu diesem Verfahren siehe [140]).

*Schritt 10: Bestimmung der Homogenität der Teststrecke:* Für den Nachweis der Homogenität der Teststrecke wird der abgeschätzte “Textur-Lärmpegel“  $END_{T,S_{T,n}}$  für jedes einzelne Segment  $S_{T,n}$  bzw. der abgeschätzte “Textur-Lärmpegel“  $END_{T,P_{T,n}}$  für jeden Messpunkt  $P_{T,n}$  herangezogen. Die für diese Werte einzuhaltende Toleranz beträgt  $\pm 0,5$  dB(A), siehe dazu Tabelle 6.4.

**Tabelle 6.4:** Toleranzen zum Nachweis der Homogenität der Textur an der Teststrecke [135]

MEASUREMENT TYPE	HOMOGENEITY INDICATOR	TOLERANCE LIMIT	TOLERANCE REQUIREMENT	SEGMENT LENGTH	SPOT SEPARATION
Texture mobile	$END_T$	$\pm 0,5$ dB(A)	90% of 20 m segments to be within tolerance	20 m	N/A
Texture static	$END_T$	$\pm 0,5$ dB(A)	90% of spot measurements to be within tolerance	N/A	10 m

Fallen mehr als 10% aller  $END_T$ -Werte nicht in den Toleranzbereich, so ist diese Teststrecke nicht zum Labelling der Fahrbahndeckschicht geeignet und es ist entweder eine neue Teststrecke herzustellen oder eine andere Teststrecke zu suchen. Werden die geforderten Toleranzen eingehalten, so kann mit Schritt 11 des Labelling- Prozesses fortgefahren werden.

*Schritt 11: Bestimmung der Homogenität der Messstrecke für die Vorbeifahrtmessungen:* Innerhalb der Teststrecke muss nun ein 100 m- Abschnitt zur Bestimmung der LABEL2-Werte ausgewählt werden. In diesem Abschnitt müssen alle 20 m- Segmente bzw. alle 10 Messpunkte innerhalb des Toleranzbereiches liegen (siehe Tabelle 6.5).

**Tabelle 6.5:** Toleranzen zum Nachweis der Homogenität der Messstrecke für die Vorbeifahrtmessungen [135]

MEASUREMENT TYPE	HOMOGENEITY INDICATOR	TOLERANCE LIMIT	TOLERANCE REQUIREMENT	SEGMENT LENGTH	SPOT SEPARATION
Texture mobile	$END_T$	$\pm 0,5 \text{ dB(A)}$	all 20 m segments to be within tolerance	20 m	N/A
Texture static	$END_T$	$\pm 0,5 \text{ dB(A)}$	all spot measurements to be within tolerance	N/A	10 m
Absorption	$END_\alpha$	$\pm 0,5 \text{ dB(A)}$	all spot measurements to be within tolerance	N/A	10 m
Mechanical Impedance (*)	Dynamic stiffness	unknown	all spot measurements to be within tolerance	N/A	10 m

(\*) There is presently no standard method for the measurement of mechanical impedance; a method has been developed as part of the SILVIA project but further research into its application is required. As such, it is not possible at the present time to specify appropriate tolerances.

Existiert auf der Teststrecke kein solcher 100 m- Abschnitt, so muss eine neue Teststrecke gefunden werden. Gibt es allerdings einen Abschnitt, der den Kriterien genügt, so kann für dichte Fahrbahndeckschichttypen Schritt 12 zur Berechnung der LABEL2- Werte ausgeführt werden, für offenporige Fahrbahndeckschichttypen sind noch zusätzliche Absorptionsmessungen durchzuführen (siehe Schritt 13 und Folgende).

*Schritt 12: Berechnung der LABEL2- Werte (nur für dichte Fahrbahndeckschichten):* Die Berechnung des LABEL2- Wertes  $LABEL2_{SPB}$  erfolgt in derselben Art und Weise wie die Berechnung von  $LABEL1_{SPB}$  (siehe dazu Schritt 10 aus Abschnitt 6.3.2.1).

$$LABEL2_{SPB} = LABEL1_{SPB} \quad (6.5)$$

Die Berechnung des  $LABEL2_{Texture}$  erfolgt über eine arithmetische Mittelwertbildung der Texturspektren  $L_{eT,i,ST,n}$  für jedes 20 m- Segment  $S_{T,n}$  bzw.  $L_{eT,i,PT,n}$  für jeden Messpunkt  $P_{T,n}$  in den Terzbändern  $i$ :

$$LABEL2_{Texture} = L_{eT,i,Average} = \frac{\sum_n L_{eT,i,ST,n}}{n}, n \geq 10 \quad (6.6)$$

$$LABEL2_{Texture} = L_{eT,i,Average} = \frac{\sum_n L_{eT,i,PT,n}}{n}, n \geq 10 \quad (6.7)$$

*Schritt 13: Durchführung der Absorptionsmessungen (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):* Zusätzlich zu den bereits erfolgten Vorbeifahrt- und Texturmessungen sind Absorptionsmessungen gem. ISO 13472-1 an allen Messpunkten  $P_{T,n}$  durchzuführen.

*Schritt 14: Berechnung der Absorptionsspektren:* Für jedes Terzband  $i$  wird der Absorptionskoeffizient  $\alpha_{i,PT,n}$  an jedem Messpunkt  $n$  bestimmt. Zusätzlich ist der Mittelwert der Absorptionskoeffizienten  $\alpha_{i,Average}$  nach der Formel

$$\alpha_{i,Average} = \frac{\sum_n \alpha_{i,PT,n}}{n}, n \geq 10 \quad (6.8)$$

zu berechnen.

*Schritt 15: Berechnung des abgeschätzten "Absorptions-Lärmpegels":* Der abgeschätzte "Absorptions-Lärmpegel"  $END_\alpha$  wird nach Hamet und Klein gemäß der folgenden Formel berechnet [141]:

$$END_\alpha = 10 \cdot \log_{10} \cdot \frac{\sum_i 10^{(L_{Amax,1,ref,i} - 12\Delta\alpha_i)/10}}{\sum_i 10^{L_{Amax,1,ref,i}/10}} dB(A) \quad (6.9)$$

mit:

$L_{Amax,1,ref,i}$ .....	maximaler Vorbeifahrtpegel für Pkw (Fahrzeugkategorie 1) bei der Referenzgeschwindigkeit in den Terzbändern $i$ [dB(A)]
$\Delta\alpha_i$ .....	Differenz des Mittelwertes der Absorptionskoeffizienten $\alpha_{i,Average}$ und den Absorptionskoeffizienten $\alpha_{i,PT,n}$ an jedem Messpunkt $n$ in den Terzbändern $i$

*Schritt 16: Bestimmung der Homogenität der Teststrecke:* Der Nachweis der Homogenität der 100 m langen Messstrecke erfolgt für jeden der 10 Messpunkte  $P_{T,n}$  nach dem abgeschätzten "Absorptions-Lärmpegel"  $END_\alpha$ , der einen Toleranzbereich von  $\pm 0,5$  dB(A) einzuhalten hat, siehe dazu Tabelle 6.5. Kann die Homogenität nicht vollständig nachgewiesen werden, so ist die weitere Vorgehensweise mit dem jeweiligen Auftraggeber abzustimmen. Ist die Homogenität gegeben, kann das Labelling für offenporige Fahrbahndeckschichten abgeschlossen werden.

*Schritt 17: Bestimmung der LABEL2- Werte für offenporige Fahrbahndeckschichttypen:* Aus den Messergebnissen der durchgeführten Messungen werden die LABEL2- Werte

- $LABEL2_{SPB}$ ,
- $LABEL2_{Texture}$  und/oder
- $LABEL2_{Absorption}$

nach den folgenden Formeln (6.10), (6.11) und (6.12) für die 20 m-Segmente  $S_{T,n}$ ,  $n = 5$  bzw. für die 10 Messpunkte  $P_{T,n}$  in den Terzbändern  $i$  berechnet:

$$LABEL2_{SPB} = LABEL1_{SPB} \quad (6.10)$$

$$LABEL2_{Texture} = L_{eT,i,Average} \quad (6.11)$$

$$LABEL2_{Absorption} = \alpha_{i,Average} \quad (6.12)$$

### 6.3.3 Akustische Qualitätskontrolle im SILVIA-Bewertungssystem

Die akustische Qualitätskontrolle liegt nach [135] in der Überprüfung der Einhaltung der akustischen Grenzwerte mithilfe von Lärmmessungen. Dabei wird entweder durch Rollgeräuschmessungen gem. ISO/CD 11819-2 [28] (für LABEL1- Werte) oder durch kombinierte Texturmessungen gem. ISO 13473-1 [33] mit Absorptionsmessungen gem. ISO 13472-1 [138] (LABEL2- Werte) ein Vergleich mit den zugehörigen Label- Werten der klassifizierten Fahrbahndeckschicht durchgeführt. Die Anwendung von Vorbeifahrtmessungen ist nicht mehr unbedingt notwendig (siehe Tabelle 6.6).

**Tabelle 6.6:** Vorgeschlagene Messmethoden bei der akustischen Qualitätskontrolle von Fahrbahndeckschichten im EU-Projekt SILVIA [135]

LABEL	METHOD OF ASSESSMENT FOR DIFFERENT ROAD SURFACES		
	Dense Graded	Open Graded	
	Rigid (*)	Rigid (*)	Elastic
LABEL1 (preferred)	CPX	CPX	CPX
LABEL2	Texture	Texture Absorption	Texture Absorption Mechanical Impedance

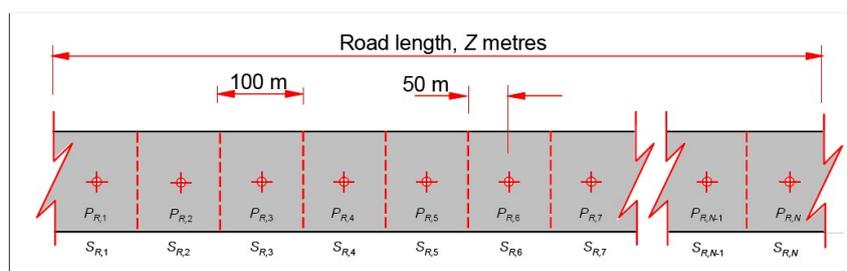
(\*) Rigid surfaces are defined as normal asphalt (dense and open graded) and concrete

Der SILVIA-Ansatz sieht in Abhängigkeit von der durchgeführten Labelling-Prozedur zwei verschiedene Möglichkeiten für die akustische Qualitätskontrolle vor:

- akustische Qualitätskontrolle für LABEL1- Werte aufgrund von Rollgeräuschmessungen und
- akustische Qualitätskontrolle für LABEL2- Werte aufgrund von Textur- und/oder Absorptionsmessungen.

Durch die Auswahl der Labelling-Prozedur ist somit auch die Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle fixiert.

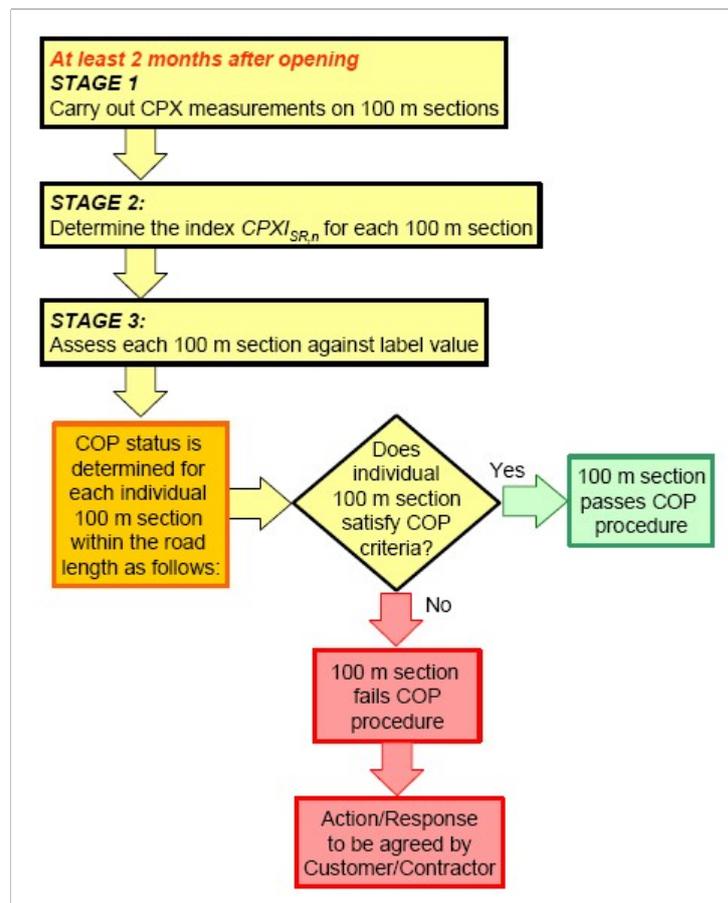
Die Rollgeräuschmessungen sind frühestens 2 Monate nach Verkehrsfreigabe durchzuführen, die statischen Messungen (Textur und Absorption) bereits vor der Verkehrsfreigabe. Die Messungen sind dabei jeweils in 100 m- Abschnitte einzuteilen, wobei die statischen Messungen in der Mitte des ausgewählten 100 m- Abschnittes stattzufinden haben. Abbildung 6.7 zeigt schematisch die Messstrecke bzw. die zu wählenden Messpunkte.



**Abbildung 6.7:** Betrachtete Strecke bei der akustischen Qualitätskontrolle von Fahrbahndeckschichten des EU-Projektes SILVIA [135]

### 6.3.3.1 Akustische Qualitätskontrolle für LABEL1- Werte

Das Verfahren zur akustischen Qualitätskontrolle für LABEL1- Werte basiert auf der Durchführung von Rollgeräuschmessungen. Abbildung 6.8 zeigt das Ablaufdiagramm zur Kontrolle des LABEL1- Wertes  $LABEL1_{CPX}$ . Die durchzuführenden Rollgeräuschmessungen sind gem. ISO/CD 11819-2 als Abnahmemessungen (Verwendung von 4 Teststreifen) durchzuführen (gleiche Vorgehensweise wie bei der LABEL1- Prozedur, siehe Abschnitt 6.3.2.1 dieser Arbeit).



**Abbildung 6.8:** Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle der LABEL1- Werte im EU-Projekt SILVIA [135]

Die Vorgehensweise der in [135] vorgestellten akustischen Qualitätskontrolle für LABEL1- Werte gliedert sich in insgesamt 3 Arbeitsschritte, die im Folgenden beschrieben werden:  
*Schritt 1: Durchführung der Rollgeräuschmessungen:* Die Rollgeräuschmessungen werden gem. ISO/CD 11819-2 [28] für 4 verschiedene Teststreifen (Abnahmemessungen) jeweils für einen 100-m- Abschnitt  $N$  durchgeführt, die Auswertung erfolgt innerhalb des Abschnittes in  $n$  20-m- Segmenten.

*Schritt 2: Berechnung des CPX-Indexes:* Für jeden 100-m- Abschnitt  $N$  wird ein CPX-Index  $CPXISR,N$  berechnet, der sich aus dem Mittelwert der 5 CPX-Indices  $CPXIST,n$  der 20-m- Segmente zusammensetzt.

$$CPXISR,N = \frac{\sum_n CPXIST,n}{5}, n = 1 \dots 5 \quad (6.13)$$

*Schritt 3: akustische Qualitätskontrolle:* Bei der Qualitätskontrolle wird schließlich der aus

der durchgeführten Messung berechnete CPX-Index  $CPXI_{SR,N}$  jedes 100 m- Abschnittes  $N$  mit dem  $LABEL1_{CPX}$ -Wert verglichen, wobei eine Erhöhung des CPX-Indexes um maximal 1,5 dB(A) zulässig ist, siehe Formel (6.14).

$$CPXI_{SR,N} \leq LABEL1_{CPX} + 1,5 \text{ dB(A)} \quad (6.14)$$

Das SILVIA-System gibt allerdings keine Konsequenzen bei Nichteinhalten der Toleranz an. Es wird vorgeschlagen, sich mit dem jeweiligen Auftraggeber ins Einvernehmen zu setzen und die weitere Vorgehensweise zu besprechen. Eine Möglichkeit wäre die Durchführung von zusätzlichen Vorbeifahrtmessungen gem. ISO 11819-1 [74], die jeweils in der Mitte der 100 m- Abschnitte stattzufinden haben. Als Toleranzwert wird auch hier 1,5 dB(A) vorgeschlagen.

$$SPBI_{ST,N} \leq LABEL1_{SPB} + 1,5 \text{ dB(A)} \quad (6.15)$$

### 6.3.3.2 Akustische Qualitätskontrolle für LABEL2- Werte

Das Verfahren zur akustischen Qualitätskontrolle für LABEL2- Werte basiert auf der Durchführung von Texturmessungen ergänzt durch Absorptionsmessungen (bei offenporigen Fahrbahndeckschichttypen). Die Messstrecke bzw. die Messpunkte für die Durchführung der dynamischen bzw. statischen Messungen sind gleich wie für das Verfahren der akustischen Qualitätskontrolle für LABEL1- Werte definiert (siehe Abbildung 6.7). Die Abbildungen 6.9 und 6.10 zeigen das Ablaufdiagramm zur Kontrolle der LABEL2- Werte  $LABEL2_{Texture}$  und  $LABEL2_{Absorption}$ .

Die Vorgehensweise der in [135] vorgestellten akustischen Qualitätskontrolle für LABEL2- Werte gliedert sich in insgesamt 8 Arbeitsschritte, die im Folgenden beschrieben werden:

*Schritt 1: Durchführung von Texturmessungen:* Die Messungen der Oberflächentextur werden mit einem Messgerät gem. ISO 13473-3 [136] durchgeführt bzw. gem. ISO 13473-1 [33] ausgewertet. Die Auswertung erfolgt für mobile Messungen jeweils in 20 m- Segmenten ( $S_{Tn}$ ). Die statischen Messungen sind in einem Abstand von 10 m zueinander durchzuführen.

*Schritt 2: Berechnung der Texturspektren:* Die Berechnung des mittleren Texturspektrums  $L_{eT,i,Average}$  für jeden 100- Abschnitt erfolgt in derselben Art und Weise wie bei der Bestimmung des LABEL2- Wertes (siehe Schritt 8 aus Abschnitt 6.3.2.2 dieser Arbeit).

*Schritt 3: Berechnung des abgeschätzten "Textur-Lärmpegels":* Die Berechnung des Faktors  $END_T$  erfolgt in derselben Art und Weise wie bei der Bestimmung der LABEL2- Werte (siehe Schritt 9 aus Abschnitt 6.3.2.2 dieser Arbeit).

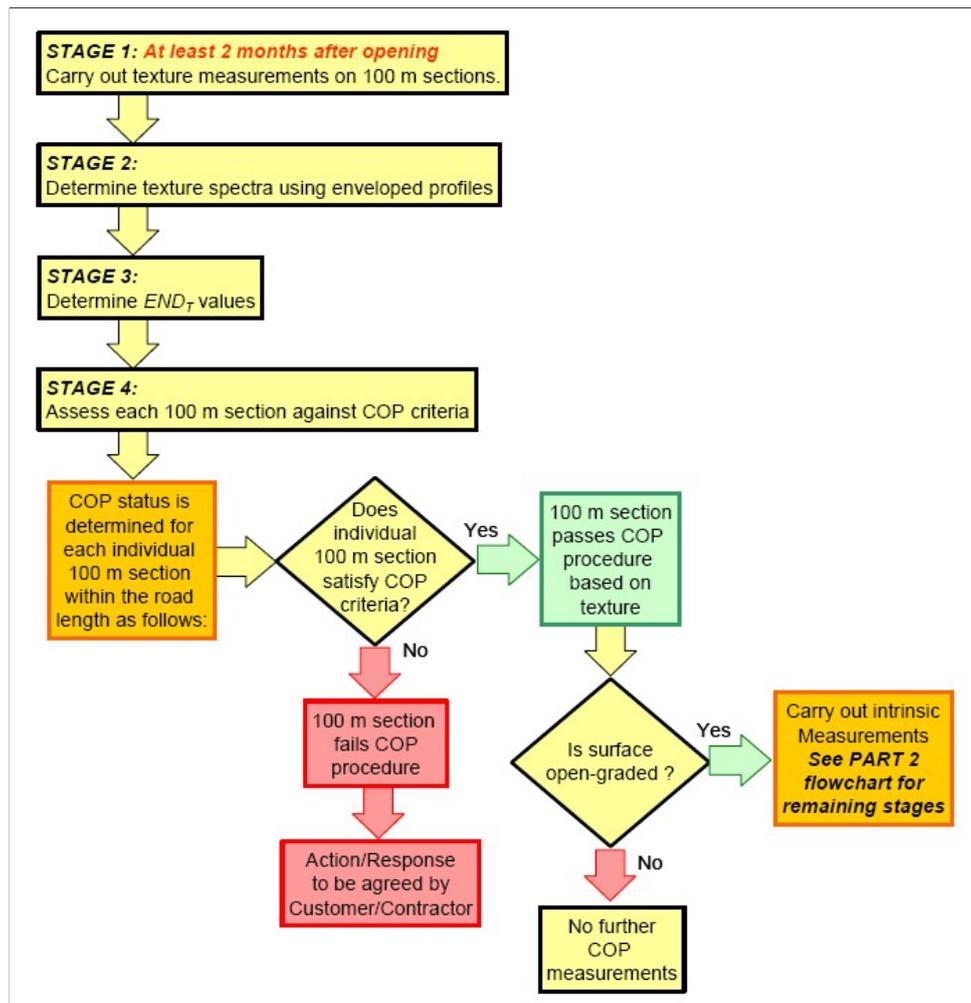
*Schritt 4: akustische Qualitätskontrolle anhand der Texturmessungen:* Bei der Qualitätskontrolle wird der aus den durchgeführten Texturmessungen berechnete Wert  $END_T$  jedes 100 m- Abschnittes mit dem  $LABEL2_{Texture}$ -Wert verglichen, wobei eine Differenz von maximal 1,5 dB(A) zulässig ist, siehe Formel (6.16).

$$END_T \leq LABEL2_{Texture} \pm 1,5 \text{ dB(A)} \quad (6.16)$$

Wird diese Toleranz nicht eingehalten, so ist die weitere Vorgehensweise mit dem Auftraggeber zu besprechen. Es könnten (wie bei der Vorgehensweise der Qualitätskontrolle für

LABEL1- Werte) zusätzliche Vorbeifahrtmessungen gem. ISO 11819-1 [74] durchgeführt und der Nachweis der Einhaltung einer 1,5 dB(A)- Toleranz geliefert werden. Das SILVIA-System gibt allerdings auch hier keine Konsequenzen bei Nichteinhalten der Toleranzen an.

Gilt die Formel (6.16) als erfüllt, so ist die akustische Qualitätskontrolle abgeschlossen, wenn es sich bei der untersuchten Fahrbahndeckschicht um eine dichte Deckschicht handelt, bei offenporigen Fahrbahndeckschichten sind zusätzlich Absorptionsmessungen durchzuführen (siehe Schritt 5 und Folgende).



**Abbildung 6.9:** Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle der LABEL2- Werte im EU-Projekt SILVIA (Teil 1) [135]

**Schritt 5:** Durchführung der Absorptionsmessungen (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten): Zusätzlich zu den bereits erfolgten Texturmessungen sind Absorptionsmessungen gem. ISO 13472-1 [138] jeweils in den Mittelpunkten der 100-m-Abschnitte  $P_{R,n}$  durchzuführen.

**Schritt 6:** Berechnung der Absorptionsspektren: Für jedes Terzband  $i$  wird der Absorptionskoeffizient  $\alpha_{i,PR,n}$  am Messpunkt  $n$  in derselben Art und Weise wie bei der LABEL2-Bestimmung (siehe Schritt 14 aus Abschnitt 6.3.2.2 dieser Arbeit) berechnet.

**Schritt 7:** Berechnung des abgeschätzten “Absorptions-Lärmpegels“: Der abgeschätzte “Absorptions-Lärmpegel“  $END_{\alpha}$  erfolgt in derselben Art und Weise wie bei der LABEL2-

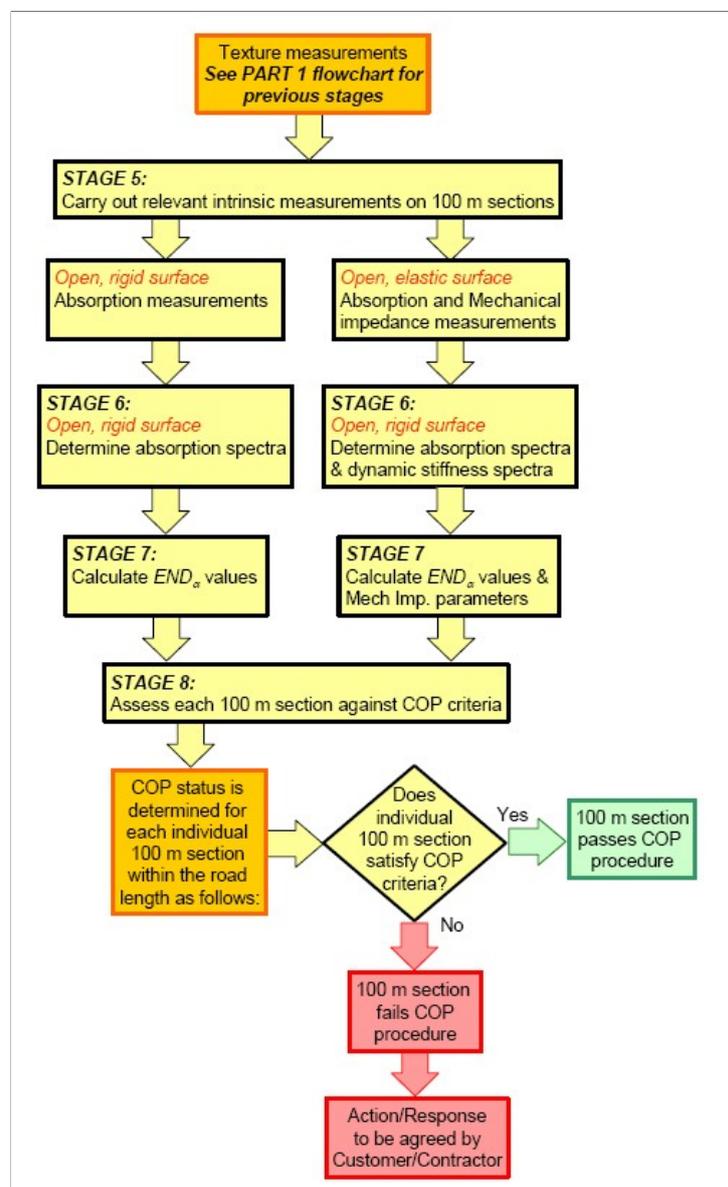
Bestimmung (siehe Schritt 15 aus Abschnitt 6.3.2.2 dieser Arbeit).

*Schritt 8: akustische Qualitätskontrolle anhand der Absorptionsmessungen:* Bei der Qualitätskontrolle wird der aus den durchgeführten Absorptionsmessungen berechnete Wert  $END_{\alpha}$  jedes Messpunktes (innerhalb eines 100 m- Abschnittes) mit dem  $LABEL2_{Absorption}$ -Wert verglichen, wobei eine Differenz von maximal 1,5 dB(A) zulässig ist, siehe Formel (6.17).

$$END_{\alpha} \leq LABEL2_{Absorption} \pm 1,5 \text{ dB(A)} \quad (6.17)$$

Wird diese Toleranz nicht eingehalten, so ist die weitere Vorgehensweise mit dem Auftraggeber zu besprechen. Es könnten auch hier zusätzliche Vorbeifahrtmessungen gem. ISO 11819-1 [74] durchgeführt und der Nachweis der Einhaltung einer 1,5 dB(A)-Toleranz geliefert werden.

Gilt die Formel (6.17) als erfüllt, so ist die akustische Qualitätskontrolle abgeschlossen.



**Abbildung 6.10:** Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle der LABEL2- Werte im EU-Projekt SILVIA (Teil 2) [135]

## 6.4 Akustische Bewertungssysteme von Fahrbahndeckschichten in Europa

### 6.4.1 Allgemeines

Ein Großteil der europäischen Staaten berücksichtigt heutzutage Lärmemissionswerte unterschiedlicher Fahrbahndeckschichttypen bei der Ermittlung der Schallemissionen aus dem Straßenverkehr (Details dazu siehe [142]). Diese lärmindernden Fahrbahndeckschichten werden somit auch als Eingangsparameter im Rahmen der Schallausbreitungsberechnung mitberücksichtigt.

Allerdings existiert in den meisten Ländern kein "echtes" akustisches Bewertungssystem für Fahrbahndeckschichten gemäß der in Abschnitt 6.1 dieser Arbeit aufgestellten Definition. Vielmehr erfolgt, so wie zurzeit auch in Österreich, eine reine Zuordnung von Lärmemissionswerten zu gewissen Fahrbahndeckschichttypen.

Allein in Großbritannien, in den Niederlanden und in Dänemark wird ein System zu einer akustischen Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten durch eine definierte Vorgehensweise einer Zertifizierung von Fahrbahndeckschichten bezüglich ihrer Lärmemissionen angewandt.

In Deutschland werden Lärmemissionswerte für spezielle Fahrbahndeckschichten angegeben, die bei Einsatz dieser definierten Fahrbahndeckschichten als Fixwerte gelten und nach Deckschichtlegung auch nicht mehr nachgewiesen werden müssen [143]. Grundlage dieser Lärmemissionswerte stellen durchgeführte Vorbeifahrtmessungen in einem Abstand von 25 m von der Straße und einer Messhöhe von 4 m dar. Die Messergebnisse von mindestens 5 verschiedenen Messungen werden mit definierten Werten einer Referenzfahrbahndeckschicht, einem nicht geriffelten Gußasphalt, verglichen und resultieren schließlich in einem Differenzwert, dem so genannten DStrO-Wert, der in der 16. BImSchV in der Tabelle B festgehalten wird (siehe [144]). Durch diese Eingliederung in eine Verordnung gestaltet sich eine Erweiterung dieser Tabelle (und damit einer akustischen Klassifizierung von zusätzlichen Fahrbahndeckschichten) als ein sehr langwieriger Prozess.

Auf gesamteuropäischer Ebene gibt es ebenso erste Tendenzen der Entwicklung eines europaweit vereinheitlichten Systems einer akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten. Im Rahmen der CEN/TC227 wurde im Jahr 2009 eine ad-hoc-Gruppe "Noise Classification" ins Leben gerufen, mit dem Ziel, einerseits die Notwendigkeit eines einheitlichen akustischen Bewertungssystems zu eruieren und andererseits die Wünsche der Mitgliedsstaaten zu evaluieren.

Auf der Ebene der Berechnungsverfahren zur Berechnung der Ausbreitung der Schallemissionen von Straßen,- Eisenbahn - und Luftverkehr wird zurzeit in Zusammenarbeit des DG ENV (Directorate-General for the Environment of the European Commission) und des DG JRC (Directorate-General of the Joint Research Centre of the European Commission) der Europäischen Kommission an einer einheitlichen, harmonisierten Vorgehensweise gearbeitet. In einem vorläufigen Bericht (siehe [145]) wird dabei bei der Berechnung der Schallemissionswerte aus dem Straßenverkehr großer Wert auf den Einfluss von lärmindernden Fahrbahndeckschichten gelegt.

All diese Entwicklungen sollen neben dem SILVIA-System als Grundlage zur Entwicklung eines österreichischen Systems zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten mit herangezogen werden.

#### 6.4.2 Akustische Bewertung lärmindernder Fahrbahndeckschichten in Großbritannien

Im Jahr 1995 wurde von der Highways Agency, der CSS (County Surveyors' Society) und dem BBA (British Board of Agrément) das so genannte HAPAS - Highways Authorities Product Approval Scheme - entwickelt, mit dem Ziel, innovative Straßenbauprodukte, darunter auch lärmindernde Fahrbahndeckschichten, zu überprüfen und zertifizieren zu können. Die HAPAS-Zertifizierung bietet Straßenbauingenieuren eindeutige Informationen über technische Spezifikationen der Produkte, wie zum Beispiel die Beschreibung, die Zusammensetzung oder die Anwendung von speziellen Einbautechniken, über durchgeführte Laboruntersuchungen und über Messungen an der Fahrbahndeckschicht. Die für die Zertifizierung notwendigen Messungen sind in einem "Guideline Document" [146] beschrieben und gliedern sich in obligatorische und freiwillig durchzuführende Messungen. In der Auflistung der freiwillig durchzuführenden Messungen an der fertig eingebauten Fahrbahndeckschicht befindet sich unter anderem auch die Durchführung von Vorbeifahrtmessungen nach der SPB-Methode. Im Rahmen der Zertifizierung im HAPAS-System ist somit eine optionale Erweiterung einer akustischen Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten möglich. Soll allerdings eine Fahrbahndeckschicht im hochrangigen Straßennetz ("national highway network") eingesetzt werden, so muss eine Lärmzertifizierung dann durchgeführt werden, wenn die Fahrbahndeckschicht als lärmindernd bezeichnet wird.

Kann ein Produkt innerhalb der ersten drei Liegejahre die in der Zertifizierung angegebenen Griffigkeitswerte und RSI-Werte (RSI - Road Surface Index) der Lärmemission nicht einhalten, muss es abgefräst und wieder ersetzt werden, sind andere Anforderungen nicht eingehalten, kann die Fahrbahndeckschicht erhalten bleiben, allerdings erfolgt dann bei öffentlichen Aufträgen keine Bezahlung (siehe dazu [147]).

Eine HAPAS-Zertifizierung gilt generell für 5 Jahre. Ist ein Produkt nach HAPAS zertifiziert, so sind nach Einbau des Produktes keine Abnahmeprüfungen betreffend der zertifizierten Eigenschaften mehr notwendig.

Bei der akustischen Klassifizierung einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht wird der Einfluss der Fahrbahndeckschicht auf die Lärmemissionen aus dem Straßenverkehr mit Hilfe von Vorbeifahrtmessungen gem. ISO 11819-1 [74] bestimmt. Die Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht kann dabei für die beiden Straßenkategorien "high speed roads" oder "medium speed roads" erfolgen. Die Referenzgeschwindigkeiten für die drei Fahrzeugkategorien

- L - Pkw und Kleintransporter (< 3,5t),
- H1 - zweiachsige Lkw > 3,5t
- H1 - mehrachsige Lkw > 3,5t

sind in [146] nach Tabelle 6.7 folgendermaßen definiert:

**Tabelle 6.7:** Definition der Referenzgeschwindigkeiten der drei Fahrzeugkategorien (nach [146])

VEHICLE CATEGORY	ROAD SPEED CATEGORY	
	Medium	High
	Reference Speed [km/h]	Reference Speed [km/h]
L - Light vehicles	80	110
H1 - Trucks with two axles	70	90
H2 - Trucks with more than two axles	70	90

Die Vorbeifahrtmessungen sind an einer repräsentativen Teststrecke durchzuführen, deren Verkehrsbelastung den Bewertungsfaktoren  $W_x$  aus ISO 11819-1 (siehe dazu Tabelle 4.3 in Abschnitt 4.3 dieser Arbeit) und deren Geschwindigkeitsniveau den Angaben gemäß Tabelle 6.7 entsprechen. Die Teststrecke soll dabei an einem geraden Straßenstück mit einer maximalen Längsneigung von 4% liegen und eine Länge von mindestens 100 m aufweisen. Für eine vollständige Zertifizierung sind Messungen an mindestens 2 Teststrecken notwendig. Allerdings können sich diese beiden Teststrecken an demselben Straßenzug befinden, wenn beide Messpunkte mindestens 100 m voneinander entfernt sind oder die Messungen an unterschiedlichen Fahrstreifen vorgenommen werden.

Die Vorbeifahrtmessungen haben unter normalem Verkehr an Teststrecken zu erfolgen, die ein Deckschichtalter zwischen 12 und 24 Monaten aufweisen.

Zum Nachweis der Homogenität der Teststrecken sind Texturmessungen mit einer schnell fahrenden Texturmesseinrichtung durchzuführen. Die Messung hat dabei in der Rollspur zu erfolgen. Die Texturtiefe am Messpunkt der Vorbeifahrtmessung darf eine maximale Abweichung von 10% im Vergleich zur mittleren Texturtiefe über die gesamte Teststrecke aufweisen, damit die Strecke als homogen angesehen werden kann. Erst nach dem erfolgten Nachweis der Homogenität der Teststrecke dürfen Vorbeifahrtmessungen durchgeführt werden. Soll die Fahrbahndeckschicht für den Einsatz auf Hochgeschwindigkeitsstraßen (“high speed roads“) zertifiziert werden, so muss am Messpunkt der Vorbeifahrtmessung in der Rollspur eine Texturtiefe (ETD - Estimated Texture Depth) von mindestens 1,00 mm nachgewiesen werden.

Die Auswertung der Vorbeifahrtmessungen erfolgt gem. ISO 11819-1 [74] je nach zu klassifizierender Geschwindigkeitskategorie der Straße nach den drei Fahrzeugkategorien L, H1 und H2. Für jede Fahrzeugkategorie  $i$  wird der maximale Vorbeifahrtpegel  $L_{veh,i}$  bei der jeweiligen Referenzgeschwindigkeit berechnet. Diese Berechnung erfolgt durch eine Regressionsanalyse, die nach Zusammenführung der beiden durchzuführenden Vorbeifahrtmessungen stattfindet.

Für die Fahrzeugkategorie L (light vehicles) wird zusätzlich eine Temperaturkorrektur vorgenommen, siehe Formel (6.18).

$$L_{veh,L,corrected} = L_{veh,L,measured} + 0,03 \cdot [(0,7 \cdot T_{surface} + T_{air}) / 2 - 20^{\circ}C] \quad (6.18)$$

mit:

$L_{veh,L}$ .....	maximaler Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugkategorie L (light vehicles) [dB(A)]
$T_{surface}$ .....	Oberflächentemperatur der Fahrbahndeckschicht [°C]
$T_{air}$ .....	Lufttemperatur zum Zeitpunkt der Messung [°C]

Als Ergebnis der Vorbeifahrtmessungen wird ein Faktor  $RSI_x$  (Road Surface Index) für die gewählte Geschwindigkeitskategorie der Straße folgendermaßen berechnet:

$$RSI_H = 10 \cdot \log_{10} \left[ 7,8 \cdot 10^{\frac{L_{veh,L}}{10}} + 0,578 \cdot 10^{\frac{L_{veh,H1}}{10}} + 0,578 \cdot 10^{\frac{L_{veh,H2}}{10}} \right] - 95,9 \quad (6.19)$$

$$RSI_M = 10 \cdot \log_{10} \left[ 11,8 \cdot 10^{\frac{L_{veh,L}}{10}} + 0,629 \cdot 10^{\frac{L_{veh,H1}}{10}} + 0,175 \cdot 10^{\frac{L_{veh,H2}}{10}} \right] - 92,3 \quad (6.20)$$

mit:

$RSI_H$ .....	RSI-Faktor für die Geschwindigkeitskategorie "High" der Straße [dB(A)]
$RSI_M$ .....	RSI-Faktor für die Geschwindigkeitskategorie "Medium" der Straße [dB(A)]
$L_{veh,L}$ .....	max. Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugkategorie L (light vehicles) bei der Referenzgeschwindigkeit [dB(A)]
$L_{veh,H1}$ .....	max. Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugkategorie H1 (trucks with two axles) bei der Referenzgeschwindigkeit [dB(A)]
$L_{veh,H2}$ .....	max. Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugkategorie H2 (truck with more than two axles) bei der Referenzgeschwindigkeit [dB(A)]

Der Faktor  $RSI_x$  stellt den Einfluss der Fahrbahndeckschicht auf das Gesamtschallereignis der Straße dar und ist als Differenzwert zur Referenzfahrbahndeckschicht HRA (Hot Rolled Asphalt) zu verstehen. Eine Fahrbahndeckschicht gilt dann als lärm mindernd, wenn sie einen RSI-Wert von mindestens -2,5 dB(A) aufweist.

Von der Highways Agency wurden in den letzten Jahren Pegelbereiche des RSI-Wertes für verschiedene Fahrbahndeckschichttypen ermittelt, die allerdings teilweise recht große Pegelunterschiede für einen Fahrbahndeckschichttyp umfassen können [147]:

Brushed concrete:	von -1,6 bis +7,4 dB(A)
Hot Rolled Asphalt:	von -1,5 bis +0,6 dB(A)
Exposed Aggregate Cement Concrete:	von -3,9 bis -1,9 dB(A)
Thin bituminous overlays:	von -5,8 bis -0,5 dB(A)
Porous Asphalt:	von -7,5 bis -5,2 dB(A)

Insgesamt sind bis heute mehr als 32 verschiedene Produkte als lärm mindernde Fahrbahndeckschichten von der Highways Agency zertifiziert.

### 6.4.3 Akustische Bewertung lärmmindernder Fahrbahndeckschichten in den Niederlanden

Wie beim akustischen Bewertungssystem für lärmmindernde Fahrbahndeckschichten in Großbritannien basiert auch das niederländische System auf der Durchführung von Vorbeifahrtmessungen gem. ISO 11819-1 [74]. Allerdings wird als Messhöhe abweichend von der ISO 11819-1 eine Mikrofonhöhe von 5 m vorgeschrieben. Die Vorbeifahrtmessungen sind an mind. 5 verschiedenen repräsentativen Teststrecken jeweils für die drei Fahrzeugkategorien

- Pkw (“cars“),
- leichte Lkw (“light trucks“) und
- schwere Lkw (“heavy trucks“)

durchzuführen.

Die Auswertung der Messungen sowie die Bestimmung eines Faktors  $C_{wegdek}$ , der den Korrekturfaktor der Fahrbahndeckschicht im Vergleich zu einer Referenzfahrbahndeckschicht darstellt, sind in der CROW-Publikation 200 [148] detailliert beschrieben.

Beim niederländischen System zur akustischen Bewertung von lärmmindernden Fahrbahndeckschichten handelt es sich zur Zeit um ein reines Klassifizierungssystem, das allein Fahrbahndeckschichten im Neuzustand betrachtet. In diesem Klassifizierungssystem für lärmmindernde Fahrbahndeckschichten wird als Referenzfahrbahndeckschicht eine fiktive Asphaltbetondeckschicht verwendet. Zur Bestimmung des Referenzlärmpegels werden Messergebnisse von Asphaltbetonen unterschiedlichen Alters und mit den verwendeten Größtkorndurchmessern von 11 mm und 16 mm herangezogen. Der A-bewertete Lärmpegel der Referendeckschicht wird folgendermaßen berechnet:

$$L_i = a_i + b_i \cdot \log \left( \frac{v_i}{v_{ref,i}} \right) \quad (6.21)$$

mit:

$L_i$	.....	Referenzlärmpegel je Fahrzeugkategorie $i$ [dB(A)]
$a_i$	.....	Grundwert der Regressionsgleichung je Fahrzeugkategorie $i$ [dB(A)]
$b_i$	.....	Steigung der Regressionsgleichung je Fahrzeugkategorie $i$
$v_i$	.....	Fahrtgeschwindigkeit je Fahrzeugkategorie $i$ [km/h]
$v_{ref,i}$	.....	Referenzgeschwindigkeit je Fahrzeugkategorie $i$ , die für Pkw mit 80 km/h und für Lkw mit 70 km/h angegeben ist

Die Emissionswerte der Referenzfahrbahndeckschicht im niederländischen Klassifizierungssystem sind in Tabelle 6.8 dargestellt. Dabei sind einerseits die Lärmpegel  $L_i$  getrennt nach den drei Fahrzeugkategorien für jede Geschwindigkeit angegeben, und andererseits die beiden Koeffizienten  $a$  und  $b$  der Regressionsgleichung.

**Tabelle 6.8:** Referenzwerte und Regressionskoeffizienten für die Referenzfahrbahndeckschicht in den Niederlanden [149]

speed [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	<i>a</i>	<i>b</i>
cars	64.84	68.04	70.66	72.87	74.78	76.47	77.98	79.35	80.59	81.74	74.78	33.01
light trucks	75.86	77.89	79.54	80.94	82.15	83.22	84.18	85.04	85.83	86.56	80.94	20.90
heavy trucks	80.19	81.97	83.48	84.78	85.94	86.97	87.90	88.75	89.53	80.19	83.48	22.50

Eine vollständige Vorbeifahrtmessung besteht aus Vorbeifahrten von mindestens 100 Pkw und 50 Lkw. Allerdings sollten alle 5 geforderten Messungen ungefähr gleich viele Vorbeifahrten beinhalten. Die Vorbeifahrtmessungen sind bei einer Lufttemperatur, die 1,2m über der Fahrbahnoberfläche zu messen ist, zwischen 5°C und 30°C durchzuführen. Treten Abweichungen von der Referenztemperatur von 20°C auf, so sind die Messergebnisse folgendermaßen zu korrigieren:

$$L_{Pkw,corrected} = L_{Pkw,measured} + 0,05 \cdot (T_{air} - 20) \quad (6.22)$$

$$L_{Lkw,corrected} = L_{Lkw,measured} + 0,03 \cdot (T_{air} - 20) \quad (6.23)$$

mit:

$L_{Lkw,Pkw}$  ..... maximaler Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugkategorien Lkw und Pkw [dB(A)]

$T_{air}$  ..... Lufttemperatur zum Zeitpunkt der Messung [°C]

Bei der Auswertung der Messungen werden mehrere Prüfungen der Ergebnisse durchgeführt. Zuerst wird für jede Vorbeifahrtmessung eine Regressionsanalyse je Fahrzeugkategorie durchgeführt. Ein Messergebnis wird dann für "gut" bewertet, wenn das 95%- Konfidenzintervall innerhalb einer Spanne von 0,3 dB(A) bei der mittleren Fahrgeschwindigkeit von 100 Pkw- Vorbeifahrten und von 50 Lkw- Vorbeifahrten liegt. Wurde eine größere Anzahl an Fahrzeugen gemessen, so wird dieses Kriterium angepasst. Für Pkw gilt dann:

$$95\% \text{ c.i.}(n, v) = 95\% \text{ c.i.}(100, v) \cdot \sqrt{\frac{99}{n-1}} \quad (6.24)$$

mit:

c.i. .... Konfidenzintervall

n ..... Anzahl der Vorbeifahrten

v ..... mittlere Fahrgeschwindigkeit der Vorbeifahrten [km/h]

Weiters dürfen die verschiedenen Lärmpegel der Vorbeifahrten einer Vorbeifahrtmessung bei derselben Messgeschwindigkeit eine Differenz von maximal 2,0 dB(A) aufweisen. Ist dies für eine Messung nicht der Fall, so ist diese aus dem Ergebnis auszustreichen.

Es ist somit möglich, dass eine Fahrbahndeckschicht nur für einen eingeschränkten Geschwindigkeitsbereich zertifiziert werden kann. In Abbildung 6.11 ist ein Beispiel gezeigt, bei dem eine Zertifizierung nur für den Geschwindigkeitsbereich zwischen 40 km/h und 60 km/h zulässig ist. Nach der Analyse des maximalen Konfidenzintervalls von 0,3 dB(A)

wäre in diesem Beispiel noch ein Geschwindigkeitsbereich von 40 km/h bis 80 km/h möglich (siehe unterer Teil in Abbildung 6.11). Dieser Bereich wird durch den erlaubten Unterschied zweier Lärmpegel von maximal 2 dB(A) weiter eingeschränkt.

	A	C	D	E	F	G	H
1		SPB-level [dB(A)]					
2		location 1	location 2	location 3	location 4	location 5	location 6
3	Temperature [°C]	18	6	10	11	24	24
4	Speed [km/h]						
5	30	59.8	63.1	57.4	59.1	60.4	59.2
6	40	62.8	66.2	61.6	<b>63.1</b>	<b>63.0</b>	62.8
7	50	<b>65.2</b>	68.6	64.8	<b>66.1</b>	<b>65.0</b>	<b>65.7</b>
8	60	<b>67.2</b>	<b>70.5</b>	<b>67.5</b>	68.6	66.6	68.0
9	70	68.8	<b>72.2</b>	<b>69.7</b>	70.8	68.0	70.0
10	80	70.3	<b>73.6</b>	71.6	72.6	69.2	71.7
11	90	71.5	74.9	73.4	74.2	70.2	73.2
12	100	72.7	76.0	74.9	75.7	71.2	74.6
13	110	73.7	77.0	76.3	77.0	72.0	75.8
14	120	74.6	78.0	77.5	78.2	72.8	76.9
15	130	75.5	78.8	78.7	79.3	73.5	77.9
16							
17		95% confidence interval					
18	Speed [km/h]	location 1	location 2	location 3	location 4	location 5	location 6
19	30	0.9	2.8	1.7	0.7	0.5	0.8
20	40	0.5	1.7	1.1	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	0.4
21	50	<b>0.2</b>	1.1	0.7	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>
22	60	<b>0.3</b>	0.6	<b>0.3</b>	0.5	0.5	0.5
23	70	0.5	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	0.7	0.7	0.7
24	80	0.7	<b>0.3</b>	0.5	0.9	0.8	0.9
25	90	0.9	0.4	0.7	1.1	1.0	1.1
26	100	1.0	0.6	0.9	1.3	1.1	1.3
27	110	1.2	0.9	1.1	1.4	1.3	1.4
28	120	1.3	1.1	1.3	1.6	1.4	1.5
29	130	1.5	1.4	1.4	1.7	1.5	1.7

Abbildung 6.11: Beispiel für die Einschränkung des Geschwindigkeitsbereiches bei der akustischen Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht [149]

Sind nun alle Messergebnisse überprüft, kann der Wert  $C_{wegdek}$  für den erlaubten Geschwindigkeitsbereich berechnet werden. Dazu wird für alle gültigen Messergebnisse eine Regressionsanalyse durchgeführt und je Fahrzeugkategorie  $i$  der Lärmpegel  $L_i$  nach Formel 6.21 berechnet.  $C_{wegdek,i}$  errechnet sich dann aus Formel (6.25).

$$C_{wegdek,i} = \Delta L_i + b_i \cdot \log\left(\frac{v_i}{v_{0,i}}\right) \quad (6.25)$$

mit:

- $C_{wegdek,i}$  ..... Korrekturfaktor des Lärmpegels im Vergleich zur Referenzdeckschicht je Fahrzeugkategorie  $i$  [dB(A)]
- $\Delta L_i$  ..... Differenz der Lärmpegel der Fahrbahndeckschicht und der Referenzdeckschicht je Fahrzeugkategorie  $i$  [dB(A)]
- $b_i$  ..... Steigung der Regressionsgleichung im gültigen Geschwindigkeitsbereich
- $v_i$  ..... Fahrgeschwindigkeit je Fahrzeugkategorie  $i$ , für die  $C_{wegdek,i}$  berechnet wird [km/h]
- $v_{0,i}$  ..... Referenzgeschwindigkeit je Fahrzeugkategorie  $i$  [km/h]

Ist eine Fahrbahndeckschicht akustisch klassifiziert, so sind für die akustische Qualitätskontrolle keine Lärmmessungen notwendig, allerdings sind nach Deckschichtlegung die Schichtdicke und der Hohlraumgehalt nachzuweisen.

In der CROW-Publikation 200 [148] wird schließlich eine Liste angegeben, welche Angaben und Daten in einem Zertifizierungsbericht einer Fahrbahndeckschicht anzuführen sind.

Bis heute sind bereits eine Vielzahl an Fahrbahndeckschichten nach CROW 200 zertifiziert. Eine vollständige Liste aller Zertifizierungen ist im Internet unter [150] nachzulesen.

#### 6.4.4 Akustische Bewertung lärmindernder Fahrbahndeckschichten in Dänemark

Im Gegensatz zu den beiden bisher vorgestellten akustischen Bewertungssystemen für lärmindernde Fahrbahndeckschichten stellen im dänischen Bewertungssystem Rollgeräuschmessungen nach ISO/CD 11819-2 [28] die Grundlage für eine lärmemissionsbedingte Einteilung von Fahrbahndeckschichten dar. Der Grund für diese Entscheidung liegt einerseits daran, dass bei Rollgeräuschmessungen der direkte Einfluss des Reifen-Rollgeräusches auf den Gesamtschallpegel gemessen wird, für den die Fahrbahndeckschicht zu einem großen Teil verantwortlich ist, und andererseits in einer relativ einfachen Anwendung der Messmethode. Außerdem sind Rollgeräuschmessungen über einen längeren Streckenabschnitt durchführbar und stellen nicht wie bei den Vorbeifahrtmessungen einen Pegelwert für einen einzelnen Messpunkt dar.

Das dänische System zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten ist im Jahre 2007 vom Danish Road Institute veröffentlicht worden (siehe [151]) und wird seitdem angewandt. Demnach sind Rollgeräuschmessungen gem. ISO/CD 11819-2 [28] nach der Überblicksmethode, bei der 2 verschiedene Reifen (Reifen A und Reifen D, siehe Abschnitt 4.2.2 dieser Arbeit) zu verwenden sind, durchzuführen. Als Referenzgeschwindigkeiten sind 50 km/h und 80 km/h zu wählen.

Die Teststrecke hat eine Länge von mindestens 100 m aufzuweisen, wobei eine ausreichende Einfahrt- und Ausfahrtstrecke vorhanden sein muss, um eine normkonforme Messung über die Länge der gesamten Teststrecke durchführen zu können. Insgesamt ist für eine vollständige akustische Bewertung eine Messlänge von 400 m notwendig, die sich allerdings auch aus mehreren Teststrecken zusammensetzen kann.

Zurzeit gibt es noch keine Einschränkungen für das Fahrbahndeckschichtalter, bei dem die Messungen durchzuführen sind. Somit handelt es sich auch beim dänischen System zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten um ein reines Klassifizierungssystem für Fahrbahndeckschichten im Neuzustand.

Ebenso sind keine Anforderungen an die Homogenität der Teststrecke zu erfüllen. Allerdings ist für den Rollgeräuschmessanhänger eine spezielle Kalibrierung durchzuführen, bei der ein Kalibrierungsfaktor  $K$  ermittelt wird, der eine Anpassung des CPX-Indexes erlaubt. Dies ist aufgrund der Vielzahl der auf dem Markt existierenden unterschiedlichen Messanhänger notwendig und besteht aus jährlich an speziellen Referenzstrecken durchzuführenden Messungen.

Der Rollgeräuschmessanhänger hat die Messung der beiden Reifen A und D gleichzeitig

durchzuführen, wobei der Reifen A in der Rollspur zu führen ist. Beispielhaft ist in Abbildung 6.12 der Rollgeräuschemessanhänger des Danish Road Institutes gezeigt.



Abbildung 6.12: Rollgeräuschemessanhänger des Danish Road Institutes [151]

Die Auswertung der Rollgeräuschemessungen erfolgt in Anlehnung an die ISO/CD 11819-2 nach einem Index  $CPX_{DK}$ , der sich aus Formel (6.26) berechnen lässt:

$$CPX_{DK} = 0,85 \cdot CPXL + 0,15 \cdot CPXH + K \quad (6.26)$$

mit:

$CPX_{DK}$	.....	CPX-Index für die Zertifizierung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten in Dänemark [dB(A)]
$CPXL$	.....	CPX-Index des Messreifens A: $CPXL = 1,00 \cdot L_A + 1,00$ [dB(A)] mit $L_A$ ... Lärmpegel des Messreifens A [dB(A)]
$CPXH$	.....	CPX-Index des Messreifens D: $CPXL = 1,00 \cdot L_D$ [dB(A)] mit $L_D$ ... Lärmpegel des Messreifens D [dB(A)]
$K$	.....	Kalibrierungsfaktor des Rollgeräuschemessanhängers

Die untersuchte Fahrbahndeckschicht kann nun nach dem Index  $CPX_{DK}$  akustisch zertifiziert werden. Diese Zertifizierung gilt dann für 5 Jahre.

Im einem weiteren Schritt findet schließlich eine akustische Klassifizierung der untersuchten Fahrbahndeckschicht statt, indem ein Differenzwert zwischen dem ermittelten Index  $CPX_{DK}$  und einem Referenz-Index gebildet wird. Als Referenzfahrbahndeckschicht wird, wie im niederländischen Modell, eine fiktive Fahrbahndeckschicht herangezogen, deren Lärmpegel sich aus einem Mix von Asphaltbetonen und Splittmastixasphalten mit einem maximalen Größtkorndurchmesser von 11 mm und einem Deckschichtalter von 8 Jahren zusammensetzt. Die Referenzfahrbahndeckschicht weist für die beiden Referenzgeschwindigkeiten die in Tabelle 6.9 dargestellten Referenz-Indices auf.

**Tabelle 6.9:** Definition der Referenzfahrbahndeckschicht (nach [151])

REFERENZGESCHWINDIGKEIT	CPX <sub>DK</sub>
50 km/h	94,0 dB(A)
80 km/h	102,0 dB(A)

Die Differenzbildung in Formel (6.27) stellt nun die Grundlage der akustischen Klassifizierung dar.

$$\Delta CPX_{DK} = CPX_{DK,ref} - CPX_{DK,meas} \tag{6.27}$$

mit:

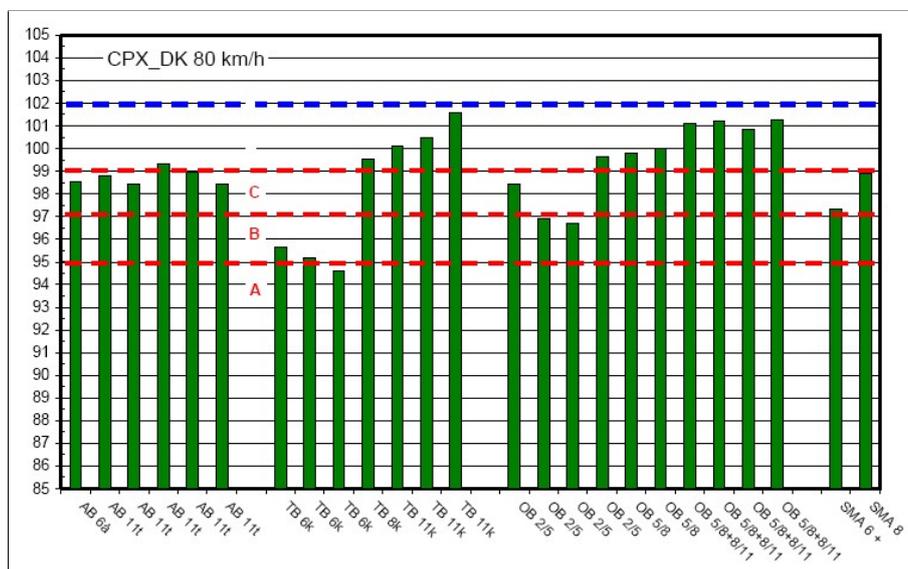
- $\Delta CPX_{DK}$  ..... CPX- Index für die akustische Klassifizierung [dB(A)]
- $CPX_{DK,ref}$  ..... CPX- Index der Referenzfahrbahndeckschicht [dB(A)]
- $CPX_{DK,meas}$  ..... CPX- Index der zu klassifizierenden Fahrbahndeckschicht [dB(A)]

Die akustische Klassifizierung erfolgt in 3 verschiedenen Lärmklassen, die jeweils durch 2 dB(A)- Schritte voneinander getrennt sind (siehe Tabelle 6.10).

**Tabelle 6.10:** Einteilung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten in Lärmklassen (nach [151])

LÄRMKLASSE		LÄRMREDUKTION IN dB(A)
A	very good noise reduction	$\Delta x \geq 7,0$
B	good noise reduction	$5,0 \geq \Delta x < 7,0$
C	noise reduction	$3,0 \geq \Delta x < 5,0$

Wird eine klassifizierte Fahrbahndeckschicht an einer Strecke realisiert, so ist automatisch die klassifizierte Lärmklasse anzunehmen, der Nachweis durch eine akustische Qualitätskontrolle ist nicht notwendig. Bis heute sind in Dänemark eine Vielzahl an Fahrbahndeckschichten nach diesem System klassifiziert. Beispielhaft sind einige davon in Abbildung 6.13 dargestellt.



**Abbildung 6.13:** Messergebnisse des Danish Road Institute [151]

In [151] wurde weiters ein Formular entwickelt, das bei der akustischen Klassifizierung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten anzuwenden ist (siehe Abbildung 6.14).

<b>SRS NOISE-DECLARATION</b>		<b>X (80)</b>														
Producer: _____ Product: _____ Type: _____ Recipe No.: _____		<b>X (50)</b>														
<b>NOISE MEASUREMENT:</b>	<b>CPX-measurement at 50 km/h</b>	<b>CPX- measurement at 80 km/h</b>														
<u>Declaration section</u> Name/number: Chainage: Side of road: Construction date:																
<u>Job Mix Formula</u> Identification/date:																
<u>QC test results</u> Production & constr. Lab. ID. No:																
<u>CPX-measurement</u> Execution. date: Measuring firm: Measuring report-ID: Measured section:																
<u>CPX-results. CPX<sub>DK</sub></u> Measured value: DK reference: Noise reduction:	dB(A) 94.0	dB(A) 102.0														
<u>Remarks:</u>																
<b>JOB MIX FORMULA DETAILS:</b>																
Bitumen type:	<input type="checkbox"/> 40/80 – 160/220	<input type="checkbox"/> 250-330 – 330/430	<input type="checkbox"/> Other (describe)													
Aggregate <sub>Coarse part</sub> :	<input type="checkbox"/> Quarried	<input type="checkbox"/> Crushed Gravel	<input type="checkbox"/> Other (describe)													
Marshall-Voids:	____ (1 decimal)	<input type="checkbox"/> Geometric	<input type="checkbox"/> Volumetric (air/water)													
Gradation. % passing:	0.083 mm: _____ 8 mm: _____	2 mm: _____ 11 mm: _____	5.6 mm: _____													
Certified by:	Name: _____	Date: _____														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Noise Class</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Noise reduction (dB<sub>A</sub>)</td> <td>&gt; 7</td> <td>5 - 7</td> <td>3 - 5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Very good noise reduction</td> <td>Good noise reduction</td> <td>Noise reduction</td> </tr> </tbody> </table>	Noise Class	A	B	C	Noise reduction (dB <sub>A</sub> )	> 7	5 - 7	3 - 5		Very good noise reduction	Good noise reduction	Noise reduction	<table border="1"> <tr> <td>Complies with SRS-requirements for declaration of noise reducing surfacings in Denmark</td> </tr> </table>			Complies with SRS-requirements for declaration of noise reducing surfacings in Denmark
Noise Class	A	B	C													
Noise reduction (dB <sub>A</sub> )	> 7	5 - 7	3 - 5													
	Very good noise reduction	Good noise reduction	Noise reduction													
Complies with SRS-requirements for declaration of noise reducing surfacings in Denmark																

Abbildung 6.14: Formular zur akustischen Klassifizierung für lärmindernde Fahrbahndeckschichten in Dänemark [151]

## 6.5 Gesamtheitliche Analyse bestehender Systeme zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten

Das im EU-Projekt SILVIA vorgestellte akustische Bewertungssystem für Fahrbahndeckschichten stellt ein sehr umfangreiches Konzept dar, in dem eine Vorgehensweise einer akustischen Bewertung in allen Details (Definition der Teststrecke, Beschreibung der durchzuführenden Messungen und Auswertungen) beschrieben wird. Allerdings handelt es sich dabei um ein rein theoretisches Konzept, das in der Praxis noch nicht umgesetzt wurde. Ziemlich aufwendig gestaltet sich der Nachweis der Homogenität der Teststrecke sowie der Verfahrensablauf für das LABEL2-System. Ebenso wird auf das akustische Langzeitverhalten einer Fahrbahndeckschicht nicht direkt eingegangen. Allerdings wird das Langzeitverhalten einer Fahrbahndeckschicht auch in keinem anderen der untersuchten Bewertungssysteme berücksichtigt.

Im dänischen System der akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten wird das SILVIA-Konzept ansatzweise umgesetzt, obwohl nur Rollgeräuschmessungen angewandt werden und kein Nachweis der Homogenität der Teststrecke notwendig ist. Die Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht erfolgt anhand einer lärmemissionsbedingten Einteilung in 3 verschiedene Lärmklassen. In den Bewertungssystemen in den Niederlanden und in Großbritannien werden Fahrbahndeckschichten hingegen aufgrund ihrer Vorbeifahrtpegel nach einem Einzelwert akustisch klassifiziert. Der Nachweis der akustischen Klassifizierung nach Deckschichtlegung einer Fahrbahndeckschicht erfolgt bei allen untersuchten Bewertungssystemen nach der Deckschichtrezeptur, es ist somit keine Abnahmeprüfung betreffend der klassifizierten Pegelwerte bzw. Lärmklassen durchzuführen. In Großbritannien ist das Verfahren zur akustischen Bewertung in den generellen Zertifizierungsprozess einer Fahrbahndeckschicht als optionale Erweiterung integriert. Soll eine (als lärmindernd deklarierte) Fahrbahndeckschicht im hochrangigen Straßennetz eingesetzt werden, so ist eine akustische Bewertung durchzuführen. Kann eine Fahrbahndeckschicht innerhalb der ersten drei Liegejahre die Anforderungen an die Lärmemissionen nicht einhalten, so müssen konkrete Maßnahmen getroffen werden (Fräsen oder Erneuern der Fahrbahndeckschicht). Das britische System ist somit das einzige, bei dem bei Nichteinhaltung der akustisch klassifizierten Werte Maßnahmen gefordert werden.

Das niederländische akustische Bewertungssystem von Fahrbahndeckschichten stellt einen detailliert beschriebenen Ablauf der Auswertung von durchgeführten Vorbeifahrtmessungen dar, indem die Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht für jene Geschwindigkeitsbereiche durchgeführt werden kann, in denen sich alle Messergebnisse um nicht mehr als 2 dB(A) voneinander unterscheiden.

In Tabelle 6.11 wird in einer zusammenfassenden Gegenüberstellung der untersuchten akustischen Bewertungssysteme lärmindernder Fahrbahndeckschichten ein Vergleich bzgl. der Einhaltung der in den Abschnitten 6.2.1 und 6.2.2 dieser Arbeit definierten Anforderungen an eine akustische Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten angestellt. Als Akronym für die LABEL1-Prozedur des Projektes SILVIA wird dabei "SILVIA1", für die LABEL2-Prozedur des Projektes SILVIA "SILVIA2" verwendet.

**Tabelle 6.11:** Vergleich der untersuchten akustischen Bewertungssysteme lärmindernder Fahrbahndeckschichten anhand definierter Anforderungen

ANFORDERUNGEN	SILVIA1	SILVIA2	GB	NL	DK
	erfüllt [Ja/Nein/Tw (teilweise)]				
Verständlichkeit	Ja	Tw	Ja	Ja	Ja
praktische Anwendbarkeit	Ja	Tw	Ja	Ja	Ja
Einsatz spezieller Experten notwendig	Tw	Ja	Tw	Tw	Tw
Anwendung normkonformer Messungen und Analysen	Ja	Tw	Ja	Ja	Ja
Gewährleistung der Wiederholbarkeit der Messungen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
akustische Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
akustische Klassifizierung durch Lärmessungen	Ja	Tw	Ja	Ja	Ja
Notwendigkeit von speziellen Berechnungen	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
Formular zur akustischen Bewertung vorhanden	Nein	Nein	Ja	Tw	Ja
Einteilung in Lärmklassen vorhanden	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
akustische Klassifizierung für den Neuzustand der Fahrbahndeckschicht	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
akustische Bewertung über die Lebensdauer der Fahrbahndeckschicht	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Anreize für eine akustische Bewertung vorhanden	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
akustische Qualitätskontrolle durch Messungen	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
akustische Qualitätskontrolle integriert in die generelle Abnahmeprüfung	Nein	Nein	Tw	Tw	Tw
Konsequenzen, wenn klassifizierte Lärmpegel bzw. Lärmklassen bei der akustischen Qualitätskontrolle nicht eingehalten werden	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein
Verfahren für ein akustisches Monitoring	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Definition einer Teststrecke	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Nachweis der Homogenität der Teststrecke	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
Beschreibung der Deckschichtrezeptur	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
Angabe der Materialparameter, die größtenteils für die Entstehung der Lärmemissionen verantwortlich sind	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Angabe von Toleranzen dieser Materialparameter	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Abschätzung des Alterungsverhaltens der Fahrbahndeckschicht	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass in keinem der untersuchten Systeme zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten das akustische Alterungsverhalten einer Fahrbahndeckschicht berücksichtigt wird. Ebenso sind, mit Ausnahme von Großbritannien, in keinem Land direkte Konsequenzen bei Nichteinhaltung von klassifizierten Lärmpegeln bzw. Lärmklassen vorgesehen. Diese Schwachstellen gilt es in dem zu entwickelnden Verfahren einer akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten auszumerzen.

## 7. KAPITEL

# VERFAHREN ZUR AKUSTISCHEN BEWERTUNG VON LÄRMMINDERNDEN FAHRBAHNDECKSCHICHTEN

## 7.1 Grundlagen eines akustischen Bewertungssystems für die Anwendung in Österreich

Das in dieser Arbeit entwickelte System zur akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten greift auf die grundlegende Vorgehensweise der akustischen Klassifizierung aus dem EU-Projekt SILVIA zurück, ergänzt durch Erfahrungen aus den nationalen akustischen Bewertungssystemen in Großbritannien, in den Niederlanden und in Dänemark. Die Adaptierung für österreichische Verhältnisse erfolgt vor allem im Sinne einer einfachen Durchführbarkeit. Aus diesem Grund wird die LABEL2-Prozedur des SILVIA-Verfahrens aufgrund der Komplexität des Verfahrens, aber auch aufgrund der Ungenauigkeiten bei der Umrechnung von Textur- und Absorptionsergebnissen auf dB(A)-Werte nicht berücksichtigt.

Die als Grundlage der Entwicklung für das akustische Bewertungssystem lärm mindernder Fahrbahndeckschichten für Österreich herangezogene LABEL1-Prozedur des EU-Projektes SILVIA weist zwei große Schwachstellen auf:

1. es erfolgt keine Abschätzung des Alterungsverhaltens der Fahrbahndeckschicht
2. es ist kein Anreiz für die Durchführung der Klassifizierung vorhanden

Somit ist es notwendig, einerseits eine Erweiterung des SILVIA-Ansatzes durch Einbeziehung des akustischen Langzeitverhaltens der Fahrbahndeckschichten durchzuführen und andererseits eine Prozedur zu entwickeln, die Vorteile sowohl für Auftragnehmer als auch für Auftraggeber bringen kann und damit die Anwendung lärm mindernder Fahrbahndeckschichten erleichtert und fördert.

Im entwickelten Verfahren erfolgt die akustische Klassifizierung getrennt nach den drei Straßenkategorien

- Autobahnen und Schnellstraßen,
- sonstige Freilandstraßen und
- Stadtstraßen,

die sich einerseits in der Verkehrszusammensetzung und andererseits in unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus der einzelnen Fahrzeugkategorien unterscheiden.

Zur akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten werden Vorbeifahrtmessungen gem. ISO 11819-1 [74] und Rollgeräuschmessungen gem. ISO/CD 11819-2 [28] angewandt, die Rollgeräuschmessungen dienen weiters dem Nachweis der Homogenität der Teststrecke. Zusätzliche Messungen des Drainverhaltens gem. RVS 11.06.61 [77] werden für offenporige Fahrbahndeckschichten vorgeschlagen, Absorptionsmessungen gem. DIN ISO 13472-1 [78] für offenporige Fahrbahndeckschichten sollen als Alternativmessungen möglich sein.

Die Vorbeifahrtmessungen finden getrennt nach den drei Fahrzeugkategorien

- Kat. 1: Personenkraftwagen (inkl. andere leichte Fahrzeuge),
- Kat. 2: zweiachsige Lkw und
- Kat. 3: mehrachsige Lkw

statt. Linien- und Reisebusse werden je nach deren Achszahl der Fahrzeugkategorie 2 oder 3 zugeordnet. Motorräder sind von der Messung ausgenommen.

Bei der Durchführung der Rollgeräuschmessungen sind als Referenzgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der drei Straßenkategorien die in Tabelle 7.1 angegebenen Werte zu verwenden.

**Tabelle 7.1:** Definition der Referenzgeschwindigkeiten bei Ausführung der Rollgeräuschmessungen im Rahmen der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten

MESSUNG	STRASSENKATEGORIE		
	A+S	sonstige Freilandstraßen	Stadtstraßen
	$v_{ref}$ [km/h]	$v_{ref}$ [km/h]	$v_{ref}$ [km/h]
CPX-Messung	100	70	50

Die Rollgeräuschmessung hat im ersten Fahrstreifen stattzufinden, wobei der Messreifen in der Rollspur zu führen ist.

## 7.2 Entwicklung eines akustischen Bewertungssystems

### 7.2.1 Definition der Referenzfahrbahndeckschicht

Bei der akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten wird einer Fahrbahndeckschicht eine Lärmklasse zugeordnet, die das Lärminderungspotenzial der zu bewertenden Fahrbahndeckschicht im Vergleich zu einer Referenzfahrbahndeckschicht beschreibt. Als Referenzfahrbahndeckschicht wird im neu entwickelten System der akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten ein Splittmastixasphalt mit Größtkorn 11 mm (SMA 11, S2) herangezogen. Dieser stellt den so genannten Nullzustand des akustischen Bewertungssystems dar. Die Grundwerte der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 wurden in Abschnitt 5.3.5 dieser Arbeit bestimmt und sind in Abhängigkeit der Straßenkategorie bzw. der Lärmmessmethode in Tabelle 7.2 zusammenfassend aufgelistet. Die akustische Bewertung aller anderen Fahrbahndeckschichten erfolgt durch einen

Vergleich der ermittelten Grundwerte der zu bewertenden Fahrbahndeckschicht mit den Grundwerten der Referenzfahrbahndeckschicht.

**Tabelle 7.2:** Grundwerte der Referenzfahrbahndeckschicht bei der akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten

GRUNDWERT	STRASSENKATEGORIE		
	A+S	sonstige Freilandstraßen	Stadtstraßen
VORBEIFAHRTMESSUNG			
LABEL0 <sub>SPB</sub> [dB(A)]	84,4	81,3	73,2
ROLLGERÄUSCHMESSUNG			
LABEL0 <sub>CPX</sub> [dB(A)]	100,7	97,4	93,4 (*)
LABEL5 <sub>CPX</sub> [dB(A)]	102,5	98,5	95,2 (*)
LABEL10 <sub>CPX</sub> [dB(A)]	104,4	100,1 (*)	97,4 (*)
(*) Die Grundwerte zur akustischen Bewertung der Straßenkategorie "Stadtstraßen" stammen aufgrund der geringen vorhandenen Datenlage einerseits aus vorhandenen Daten und andererseits aus einer Rückrechnung der Messdaten der Straßenkategorie "sonstige Freilandstraßen". Weiters können die Grundwerte LABEL10 <sub>CPX</sub> (außer für die Straßenkategorie "A+S") wegen geringer Messergebnisse nur als abgeschätzt angesehen werden. Alle anderen Daten stammen aus einer fundierten Datenbank österreichischer Lärmessergebnisse.			

mit:

LABEL0 <sub>SPB</sub> .....	Grundwert der akustischen Bewertung des Vorbeifahrtpegels im Neuzustand der Fahrbahndeckschicht
LABEL0 <sub>CPX</sub> .....	Grundwert der akustischen Bewertung des Rollgeräuschpegels im Neuzustand der Fahrbahndeckschicht
LABEL5 <sub>CPX</sub> .....	Grundwert der akustischen Bewertung des Rollgeräuschpegels nach 5 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschicht
LABEL10 <sub>CPX</sub> .....	Grundwert der akustischen Bewertung des Rollgeräuschpegels nach 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschicht

## 7.2.2 Modellbildung für das akustische Bewertungssystem

### 7.2.2.1 Modell der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten

Aufbauend auf der in Abschnitt 6.1.2 dieser Arbeit erläuterten generellen Vorgehensweise gliedert sich das entwickelte System der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten in drei zeitlich voneinander getrennten Abläufe:

- akustische Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht (im Rahmen der Erstprüfung), siehe Abschnitt 7.3 dieser Arbeit,
- akustische Qualitätskontrolle der klassifizierten Fahrbahndeckschicht (im Rahmen der Abnahmeprüfung), siehe Abschnitt 7.4 dieser Arbeit und
- akustisches Monitoring (Bewertung des Alterungsverhaltens) der akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht über ihre Lebensdauer (im Rahmen einer "Abnahmeprüfung"

nach 5 oder 10 Jahren oder von periodisch durchzuführenden Prüfungen), siehe Abschnitt 7.5 dieser Arbeit.

Durch diese Vorgehensweise kann eine vollständige lärmemissionsbedingte Betrachtung einer Fahrbahndeckschicht über ihre gesamte Liegedauer gewährleistet werden. Da lärm-mindernde Fahrbahndeckschichten je nach Deckschichttyp und Bauweise (offenporige oder dichte Fahrbahndeckschichttypen) ein unterschiedliches akustisches Langzeitverhalten aufweisen (siehe dazu auch Abschnitt 5.7 dieser Arbeit), ist diese gesamtheitliche Betrachtung unbedingt notwendig.

Der Anwender einer akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht hat somit die Möglichkeit, diese lärm-mindernde Fahrbahndeckschicht nicht nur nach ihrem Lärm-minderungspotenzial direkt nach Deckschichtlegung beurteilen zu können, sondern auch eine Abschätzung des Lärmemissionsverhaltens nach einer Liegedauer von mehreren Jahren zur Verfügung zu haben.

Dieser Ansatz einer lärmemissionsbedingten Bewertung von Fahrbahndeckschichten über ihre Lebensdauer stellt eine vollkommen neue Herangehensweise für die praktische Anwendung von lärm-mindernden Fahrbahndeckschichten dar. Eine lärm-mindernde Fahrbahndeckschicht mit einem hohen Lärm-minderungspotenzial kurz nach Deckschichtlegung könnte im Laufe der Zeit einen Teil dieses Lärm-minderungspotenzials möglicherweise einbüßen. Aber auch der entgegengesetzte Fall einer Verbesserung des Lärm-minderungspotenzials wäre denkbar. Im entwickelten System der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten wird dieses sich verändernde Lärmverhalten über die Lebensdauer einer Fahrbahndeckschicht mitberücksichtigt.

Eine Implementierung des entwickelten Systems der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten in das heutzutage angewandte Verfahren zur Schallausbreitungsberechnung gem. RVS 04.02.11 [9], in dem die Lärmemission von Fahrbahndeckschichten im Neuzustand als wichtiger Eingangsfaktor berücksichtigt wird, würde eine große Erweiterung bei der spezifischeren Berücksichtigung von lärm-mindernden Fahrbahndeckschichten in der Schallausbreitungsberechnung bedeuten.

Die durchgeführte Analyse der zur Zeit in Europa angewandten Systeme zur akustischen Bewertung von lärm-mindernden Fahrbahndeckschichten zeigt zwei unterschiedliche Methoden der Berücksichtigung des Lärmverhaltens einer lärm-mindernden Fahrbahndeckschicht:

*Methode 1:* Die akustischen Bewertungssysteme aus Großbritannien, den Niederlanden und auch aus Deutschland gehen davon aus, dass eine durch Lärm-messungen bereits bewertete Fahrbahndeckschicht bei einem weiteren Einbau die bewertete akustische Eigenschaft mindestens dann aufweist, wenn die selbe Deckschichtrezeptur (das selbe Mix-Design) wie bei der Klassifizierung verwendet wird. Die akustische Klassifizierung der untersuchten Fahrbahndeckschicht erfolgt bei dieser Vorgehensweise nach einem Einzelwert, der die Lärm(minderungs)eigenschaften der Fahrbahndeckschicht widerspiegelt.

*Methode 2:* Bei der Klassifizierung in Dänemark erfolgt die Einteilung von Fahrbahndeckschichten in zuvor definierte Lärmklassen aufgrund durchgeführter Lärm-messungen. Der Nachweis der Lärmklasse einer (bereits klassifizierten) Fahrbahndeckschicht erfolgt im Rahmen der Abnahmeprüfung durch den Nachweis der Deckschichtrezeptur.

Beiden Vorgehensweisen ist gleich, dass nach Einbau einer akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht entweder der bewertete Lärmpegel (Methode 1) oder die in der akustischen Klassifizierung ermittelte Lärmklasse (Methode 2) als nachgewiesen angenommen werden kann, wenn die Anforderungen an die Deckschichtrezeptur erfüllt sind. Somit sind bei beiden Vorgehensweisen keine zusätzlichen Lärmmessungen zum Nachweis der Einhaltung der akustischen Klassifizierung mehr notwendig.

In dieser Arbeit wird die Letztere der beiden Methoden als Grundlage für ein effektives akustisches Bewertungssystem für lärmindernde Fahrbahndeckschichten herangezogen. Im entwickelten System der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten werden somit einer detailliert beschriebenen Fahrbahndeckschicht aufgrund von durchzuführenden Lärmmessungen zuerst Grundwerte der Bewertung in Abhängigkeit der Messmethode und daraus abgeleitet eine Lärmklasse zugeordnet (und nicht ein spezieller Wert!). Diese Lärmklasse beschreibt das Lärmverhalten der untersuchten Fahrbahndeckschicht im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht. Nach Deckschichtlegung erfolgt im Rahmen der Abnahmeprüfung, bei der jene Material- und Schichtparameter untersucht werden, die größtenteils für die Entstehung der Lärmemissionen verantwortlich sind, eine Überprüfung der klassifizierten Lärmklasse (akustische Qualitätskontrolle).

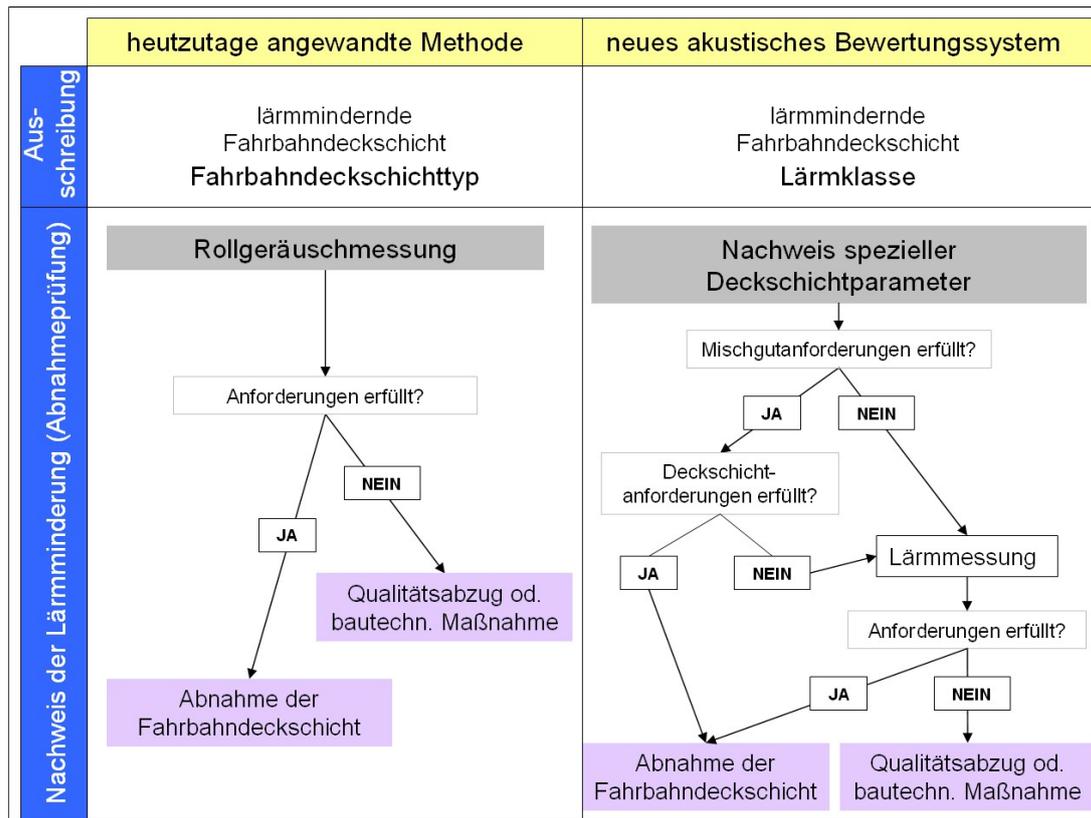
Befinden sich die Material- und Schichtparameter innerhalb der geforderten Bandbreiten für die Abnahmeprüfung, gilt die Lärmklasse als nachgewiesen. Eine Überprüfung der Lärmemissionswerte durch Lärmmessungen ist somit nicht mehr notwendig.

Auch diese Vorgehensweise unterscheidet sich grundlegend von der heutzutage üblichen Praxis beim Einsatz von lärmindernden Fahrbahndeckschichten.

Zur Zeit erfolgt eine lärmemissionsbedingte Einteilung von Fahrbahndeckschichten anhand der in den österreichischen Normen der Serie ÖNORM B 3580ff definierten Fahrbahndeckschichttypen und nicht über eine akustische Klassifizierung einer konkreten Deckschichtrezeptur. Es wird somit ein spezieller Fahrbahndeckschichttyp ausgeschrieben. Weiters erfolgt nach dem heutzutage angewandten Verfahren der Nachweis des Lärminderungspotenzials im Rahmen der Abnahmeprüfung einer eingesetzten lärmindernden Fahrbahndeckschicht aufgrund von durchgeführten Rollgeräuschmessungen im Vergleich zu einem Grenzwert, der allerdings für alle lärmindernden Fahrbahndeckschichten in Asphaltbauweise den gleichen Wert aufweist.

Bei Anwendung des entwickelten Systems der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten wird hingegen grundsätzlich vorgeschlagen, eine Lärmklasse auszuschreiben. Damit können verschiedene Fahrbahndeckschichttypen angeboten werden, die alle der geforderten Lärmklasse entsprechen. Ebenso ist damit auch eine indirekte Vorgabe von einzuhaltenden Lärmemissionsgrenzwerten gegeben. Natürlich kann die ausschreibende Stelle eine Einschränkung hinsichtlich der Bautype (offenporiger Asphalt, lärmindernder Splittmastixasphalt, Waschbeton, etc.) oder der Bauweise (Asphalt, Beton) zusätzlich vornehmen.

Ein Vergleich der gegenwärtigen Prozedur der Anwendung und Prüfung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten mit den Möglichkeiten unter Anwendung des entwickelten Bewertungssystems ist schematisch in Abbildung 7.1 dargestellt.



**Abbildung 7.1:** Schematischer Vergleich des gegenwärtigen Ablaufes einer akustischen Bewertung von lärmmindernden Fahrbahndeckschichten mit dem des entwickelten Bewertungssystems

7.2.2.2 Definition der Grundwerte bei der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten

Die Grundwerte der akustischen Bewertung von lärmmindernden Fahrbahndeckschichten stellen diejenigen Ergebnisse der durchzuführenden Lärmmessungen dar, die als Basis bei der Einordnung der Fahrbahndeckschicht in die verschiedenen Lärmklassen dienen. Sie lassen sich je Messverfahren folgendermaßen zusammenfassen:

- $LABEL_{SPB}$  ..... gemittelter SPB- Index [dB(A)]
- $LABEL_{CPX}$  ..... gemittelter CPX- Index [dB(A)]
- $LABEL_{Drain}$  ..... gemittelte Durchflusszeit  $T_{Drain}$  [sec.]
- $LABEL_{Absorption}$  ..... gemittelter Absorptionskoeffizient  $\alpha_{i,Mittel}$  [-]

Die beiden Grundwerte  $LABEL_{Drain}$  und  $LABEL_{Absorption}$  sind allerdings nur bei der Betrachtung von offenporigen Fahrbahndeckschichten heranzuziehen.

7.2.2.3 Definition der Lärmklassen bei der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten

Im akustischen Bewertungsverfahren von Fahrbahndeckschichten wird der untersuchten Fahrbahndeckschicht aufgrund von durchgeführten Lärmmessungen und einem nach-

träglichem Vergleich mit der Referenzfahrbahndeckschicht ( $\Delta dB(A)$ ) eine Lärmklasse zugeordnet. Als Ausgangslage der akustischen Bewertung sind für die Referenzfahrbahndeckschicht Schallpegelwerte als Grundwerte festgelegt, die als "R" für "Referenz" definiert sind.

Insgesamt ist im entwickelten akustischen Bewertungssystem eine Einstufung in vier verschiedene Lärmklassen  $LK_i$  möglich, die folgendermaßen benannt werden:

LK4	.....	Standard (enthält den Referenzwert)
LK3	.....	lärmmindernd
LK2	.....	stark lärmmindernd
LK1	.....	sehr stark lärmmindernd

Jede der 4 Lärmklassen umfasst einen dB(A)-Bereich von insgesamt 2 dB(A). Diese Einstufung erscheint sinnvoll, da erst eine Änderung des Schallpegels über 2 dB(A) vom menschlichen Ohr als deutlicher Unterschied wahrgenommen werden kann (siehe dazu auch Abschnitt 2.1.4 dieser Arbeit).

Die generelle akustische Bewertung einer Fahrbahndeckschicht ist in Tabelle 7.3 dargestellt.

**Tabelle 7.3:** Definition der 4 Lärmklassen (inklusive der Referenz) bei der akustischen Bewertung von lärmmindernden Fahrbahndeckschichten

LÄRMKLASSE	DEFINITION	LÄRMMINDERUNGSPOTENZIAL $\Delta x$ [dB(A)]
<b>R</b>	<b>Referenz</b>	$\Delta x = 0$
LK4	Standard	$-1 < \Delta x \leq 1$
LK3	lärmmindernd	$1 < \Delta x \leq 3$
LK2	stark lärmmindernd	$3 < \Delta x \leq 5$
LK1	sehr stark lärmmindernd	$\Delta x > 5$

Nach dieser Lärmklasseneinteilung kann eine Fahrbahndeckschicht als lärmmindernd bezeichnet werden, wenn sie einen um mehr als 1 dB(A) niedrigeren Grundwert als die Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 aufweist.

Die akustische Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht nach einer bestimmten Lärmklasse erfolgt in einem ersten Schritt nach den ermittelten Grundwerten  $LABEL0_i$  (für eine neu gelegte Fahrbahndeckschicht werden die LABEL-Werte zusätzlich mit "0" gekennzeichnet). Für jeden dieser Grundwerte wird eine Lärmklasse  $LK_i$  durch einen Vergleich mit den Grundwerten der Referenzfahrbahndeckschicht bestimmt. In einem zweiten Schritt wird je Straßenkategorie  $s$  eine Maximalwertbildung durchgeführt, bei der die kritischere Lärmklasse  $LK_{i,s}$  als maßgebend zur Bestimmung der Lärmklasse  $LK_s$  der Fahrbahndeckschicht angesehen wird, siehe Formel (7.1).

$$LK_s = \text{Max} \{LK_{SPB,s}, LK_{CPX,s}\} \quad (7.1)$$

Eine Fahrbahndeckschicht könnte somit theoretisch für unterschiedliche Straßenkategorien auch unterschiedlichen Lärmklassen zugeordnet werden. Damit wird auch der unter-

schiedlichen Wirkung des Pkw- bzw. Lkw- Verkehrs bei verschiedenen Geschwindigkeiten Rechnung getragen.

Zur Beurteilung des Alterungsverhaltens lärmindernder Fahrbahndeckschichten werden ausschließlich Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen herangezogen, die in einem Abstand von jeweils 5 Jahren nach Deckschichtlegung durchgeführt werden. Als Ergebnis dieser Messungen bilden die beiden LABEL- Werte

- $LABEL5_{CPX}$
- $LABEL10_{CPX}$

die Grundlage für die Einteilung einer Fahrbahndeckschicht in verschiedene Lärmklassen. Für jeden der ermittelten Grundwerte  $LABEL5_{CPX,s}$  und  $LABEL10_{CPX,s}$  wird durch den Vergleich mit den Grundwerten der Referenzfahrbahndeckschicht eine Lärmklasse  $LK_s$  je Straßenkategorie  $s$  bestimmt.

Eine Fahrbahndeckschicht könnte somit theoretisch einerseits bei unterschiedlichen Straßenkategorien und andererseits auch in den verschiedenen Alterungsklassen unterschiedlichen Lärmklassen zugeordnet werden.

Die akustische Lebensdauer einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht gilt dann als erreicht, wenn die Fahrbahndeckschicht kein Lärminderungspotenzial im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht mehr aufweist (und somit die Lärmklasse "LK4 - Standard" erhält).

## 7.3 Akustische Klassifizierung

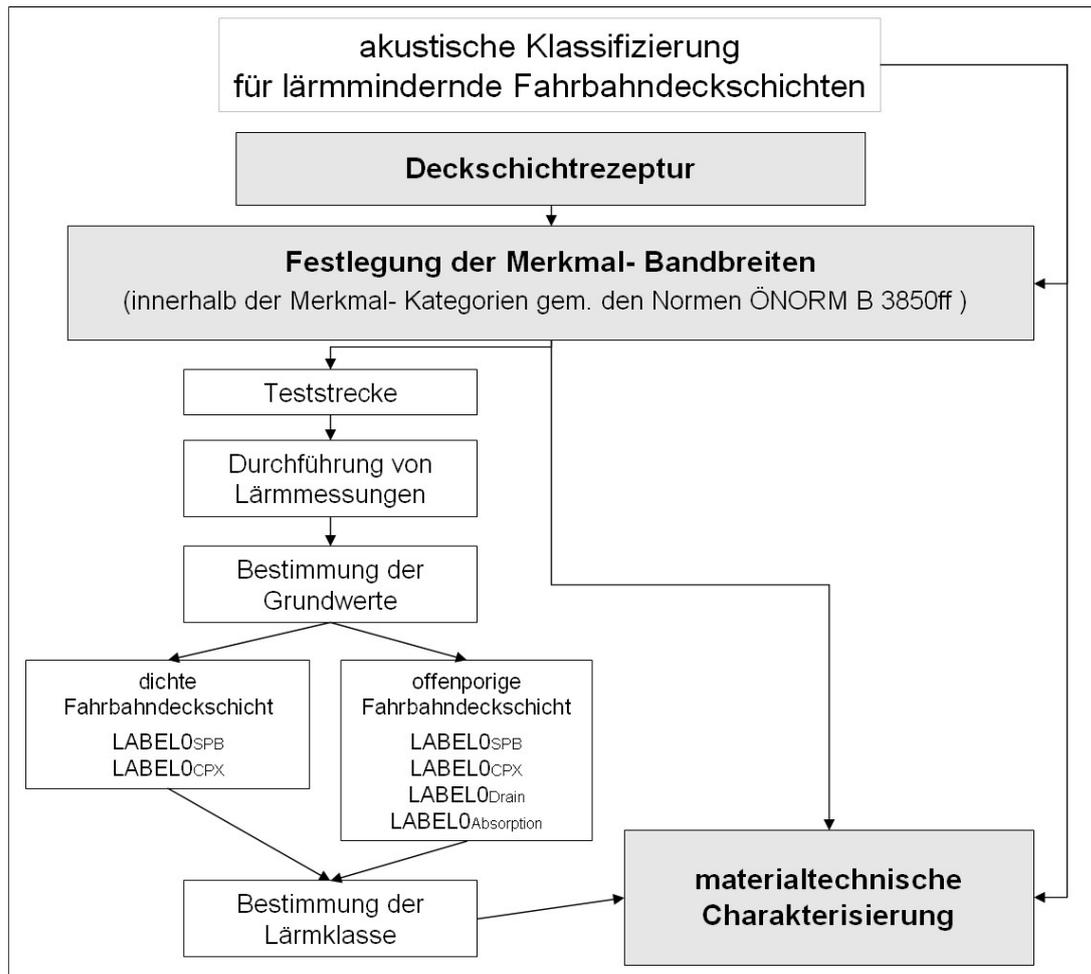
### 7.3.1 Modell der akustischen Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten

Bei der akustischen Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten wird eine spezielle Fahrbahndeckschicht, die durch ihre Deckschichtrezeptur eindeutig charakterisiert ist, mithilfe von durchzuführenden Lärmmessungen einer Lärmklasse zugeordnet. Diese erfolgt im Rahmen der konventionellen Erstprüfung der Deckschichtrezeptur. Ebenso werden bei der Erstprüfung vom Deckschichthersteller Merkmal- Bandbreiten für die Materialparameter der Deckschichtrezeptur festgelegt. Bei der Entwicklung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten sollte dabei besonderes Augenmerk auf die Haupteinflussgrößen für das Lärmverhalten einer Fahrbahndeckschicht

- Fahrbahndeckschichttyp,
- Mischgutzusammensetzung,
- Größtkorn,
- Hohlraumgehalt,
- Bindemittel und
- Bindemittelgehalt

gelegt werden. Sind die Merkmal- Bandbreiten festgelegt, so ist eine Teststrecke (im realen Straßennetz oder als Versuchsstrecke) der Fahrbahndeckschicht herzustellen, an der sowohl

Rollgeräuschmessungen als auch Vorbeifahrtmessungen durchzuführen sind. Handelt es sich bei der zu untersuchenden Fahrbahndeckschicht um eine offenporige Fahrbahndeckschicht, so sind zusätzlich Messungen des Drainverhaltens bzw. Absorptionsmessungen (optional) durchzuführen. Die Auswertung der Messungen erfolgt je nach Messmethode nach definierten Grundwerten, die weiters die Grundlage zur Bestimmung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht darstellen. Die ermittelte Lärmklasse für den Neuzustand geht schließlich als Merkmal mit in die materialtechnische Charakterisierung der Fahrbahndeckschicht ein. Die Vorgehensweise bei der akustischen Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht ist in Abbildung 7.2 schematisch dargestellt.



**Abbildung 7.2:** Schematische Darstellung der akustischen Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht (einer speziellen Deckschichtrezeptur)

### 7.3.2 Ablauf der akustischen Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht

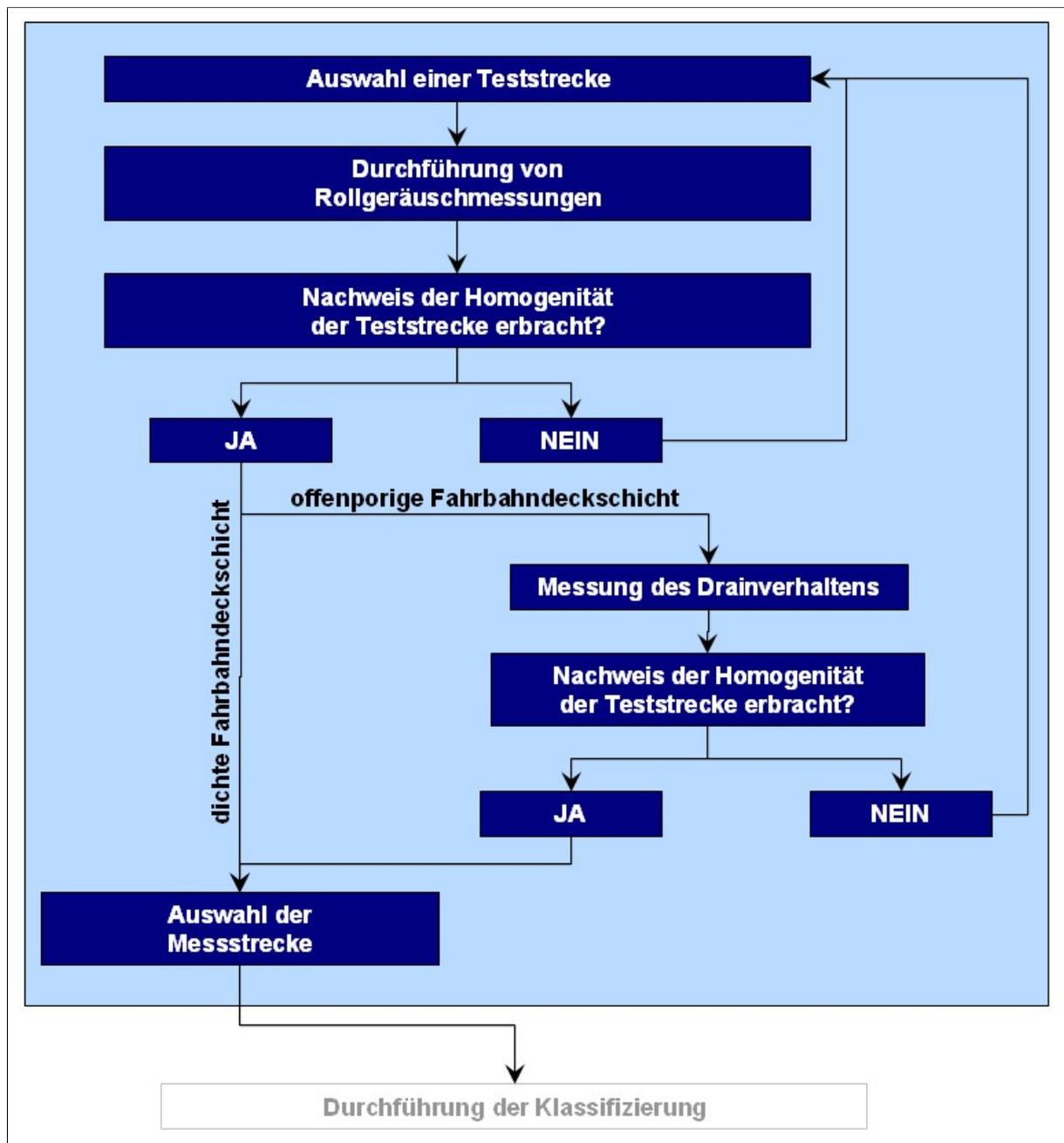
Die Durchführung der akustischen Klassifizierung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten gliedert sich in 2 aufeinanderfolgende Abläufe:

- Auswahl der Messstrecke (inkl. Bestimmung der Homogenität der Teststrecke)
- Bestimmung der Lärmklasse(n) der Fahrbahndeckschicht

Für die Auswahl einer geeigneten Messstrecke sind im entwickelten Bewertungssystem für lärm mindernde Fahrbahndeckschichten folgende Bearbeitungsschritte vorgesehen:

- Festlegung einer möglichen Teststrecke (Mindestlänge 200 m)
- Durchführung von Rollgeräuschmessungen
- Bestimmung der Homogenität der Teststrecke
- Festlegung der Messstrecke (Mindestlänge 100 m) für dichte Fahrbahndeckschichten
- Durchführung der Messung des Drainverhaltens für offenporige Fahrbahndeckschichten
- Bestimmung der Homogenität der Teststrecke anhand der Durchflusszeit für offenporige Fahrbahndeckschichten
- Festlegung der Messstrecke (Mindestlänge 100 m) für offenporige Fahrbahndeckschichten

Abbildung 7.3 zeigt das zugehörige Ablaufdiagramm.

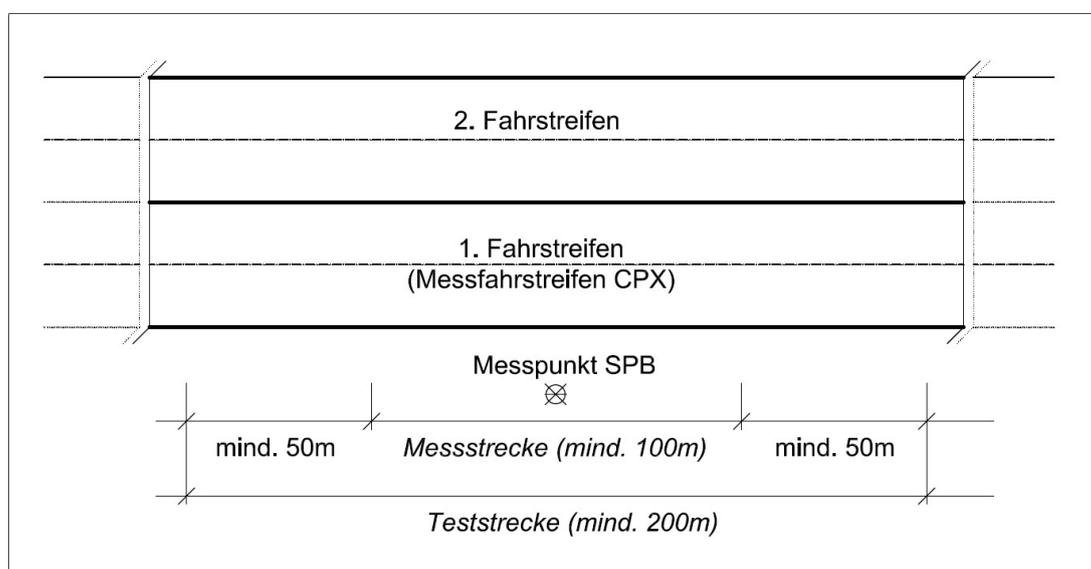


**Abbildung 7.3:** Ablaufdiagramm der akustischen Klassifizierung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten (Teil 1 - Auswahl der Messstrecke)

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren zur Auswahl der Messstrecke im akustischen Bewertungssystem basiert auf der Durchführung von Rollgeräuschmessungen. Für offenporige Fahrbahndeckschichten sind zusätzlich Messungen des Drainverhaltens bzw. Absorptionsmessungen (optional) notwendig. Die Vorgehensweise zur Auswahl der Messstrecke gliedert sich in insgesamt 6 Arbeitsschritte, die im Folgenden beschrieben werden:

**Schritt 1 - Prüfung einer möglichen Teststrecke:** Die Klassifizierung einer lärm-mindernden Fahrbahndeckschicht erfolgt jeweils für eine bestimmte Straßenkategorie. Die Teststrecke für die zu klassifizierende Fahrbahndeckschicht ist somit jedenfalls an einem für die Klassifizierung repräsentativen Straßenabschnitt der Straßenkategorie (durchschnittliche Verkehrsbelastung und Geschwindigkeitsniveau) zu wählen. Allerdings ist es auch möglich, eine Versuchsstrecke ausserhalb des bestehenden Straßennetzes speziell für die Klassifizierung zu errichten. An der ausgewählten Teststrecke muss es möglich sein, die für die Bewertung erforderlichen Messungen (Rollgeräuschmessungen und Vorbeifahrtmessungen) normkonform durchführen zu können. Das heisst, einerseits muss ein gem. ISO 11819-1 [74] ausreichendes Freifeld für die Durchführung der Vorbeifahrtmessungen vorhanden sein, andererseits ist für gültige Rollgeräuschmessungen eine homogene Oberfläche erforderlich. Ebenso ist die Längsneigung an der Teststrecke mit maximal 3% beschränkt, da bei einer größeren Längsneigung bereits höhere Motorleistungen zu registrieren sind, die den Einfluss der Fahrbahndeckschicht auf das Gesamtschallereignis verfälschen können.

Das Deckschichtalter der Fahrbahndeckschicht darf maximal ein halbes Jahr betragen, allerdings sollte in der Zeit zwischen der Deckschichtlegung und der Durchführung der Messungen keine Winterperiode liegen, da bereits nach dem ersten Winter ein Abfall des Lärminderungspotenziales bei allen Fahrbahndeckschichttypen zu erkennen ist. Eine solche Erhöhung des Lärmpegels würde dann eine Verschlechterung des Ausgangszustandes der Lärmemissionen der zu bewertenden Fahrbahndeckschicht bedeuten. Die Teststrecke, innerhalb der anschließend die Messstrecke zu wählen ist, hat die in Abbildung 7.4 dargestellten Mindestlängen aufzuweisen.



**Abbildung 7.4:** Schematische Darstellung der Messstrecke innerhalb der Teststrecke

Um zu vermeiden, dass für jede Straßenkategorie eine eigene Teststrecke angelegt werden muss, sollten die Teststrecken so gewählt werden, dass zum Beispiel sowohl "A+S"-Verhältnisse als auch die Situation für "sonstige Freilandstraßen" repräsentiert werden können. Eine derartige Vorgehensweise führt idealerweise zur bevorzugten Auswahl der Teststrecke im "A+S"-Netz. Für "Stadtstraßen" wird jedenfalls immer eine eigene Teststrecke erforderlich werden.

**Schritt 2 - Durchführung von Rollgeräuschmessungen:** Rollgeräuschmessungen werden gem. ISO/CD 11819-2 [28] für 2 verschiedene Testreifen nach der Überblicksmethode durchgeführt, die Auswertung erfolgt dabei in  $n$  20 m-Segmenten, wobei insgesamt mindestens 10 Segmente auszuwerten sind.

**Schritt 3 - Bestimmung der Homogenität der Teststrecke:** Für den Nachweis der Homogenität der Teststrecke werden die energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_A$  und  $L_D$  der beiden Messreifen A bzw. D je 20 m-Abschnitt  $n$  herangezogen und getrennt nach den Messreifen beurteilt. Die einzuhaltende Toleranz von  $\pm 0,5$  dB(A) jedes einzelnen Pegelwertes (getrennt nach den beiden Reifen A und D)  $L_{A,n}$  bzw.  $L_{D,n}$  bezieht sich dabei jeweils auf den zugehörigen Mittelwert über die gesamte Messstrecke  $L_{A,Mittel}$  bzw.  $L_{D,Mittel}$ :

$$L_{A,D,Mittel} = \frac{\sum_n L_{A,D,n}}{n}, n \geq 10 \quad (7.2)$$

Fallen mehr als 10% aller  $L_{A,D,n}$  (getrennt nach den Messreifen A und D) nicht in den Toleranzbereich, so ist diese Teststrecke nicht zur Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht geeignet und es ist entweder eine neue Versuchsstrecke herzustellen oder eine andere Teststrecke zu suchen. Werden die geforderten Toleranzen eingehalten, so kann für dichte Fahrbahndeckschichten mit Schritt 6 der akustischen Klassifizierung fortgefahren werden. Für offenporige Fahrbahndeckschichten sind zusätzlich die Schritte 4 und 5 der Klassifizierung durchzuführen.

**Schritt 4 - Durchführung der Messung des Drainverhaltens:** Die Messung des Drainverhaltens erfolgt gem. RVS 11.06.61 [77]. Die Messungen der Durchflusszeiten erfolgen dabei jeweils an Messstellen in der Mitte der  $n$  20 m-Segmente, an denen die Rollgeräuschmessungen stattgefunden haben. Die Auswertung erfolgt getrennt nach den Messstellen  $MS, n$  durch eine arithmetische Mittelwertbildung der einzelnen Durchflusszeiten  $t_i$  nach der Formel (7.3).

$$T_{Drain,MS,n} = \frac{\sum_i t_i}{i}, i \geq 12 \quad (7.3)$$

**Schritt 5 - Bestimmung der Homogenität der Teststrecke für offenporige Fahrbahndeckschichten:** Für den Nachweis der Homogenität der Teststrecke für offenporige Fahrbahndeckschichten werden die mittleren Durchflusszeiten je Messstelle  $T_{Drain,MS,n}$  herangezogen und mit der mittleren Durchflusszeit aller Messstellen aus der Formel (7.4) verglichen.

$$T_{Drain,Mittel} = \frac{\sum_n T_{Drain,MS,n}}{n}, n \geq 10 \quad (7.4)$$

Kann die einzuhaltende Toleranz von  $\pm 2$  sec. für 90% aller Messstellen  $T_{Drain,MS,n}$  eingehalten werden, so kann für offenporige Fahrbahndeckschichten mit Schritt 6 der akustischen Klassifizierung fortgefahren werden. Ist dieser Nachweis nicht möglich, so ist entweder eine neue Versuchsstrecke herzustellen oder eine andere Teststrecke zu suchen.

*Schritt 5a - Bestimmung der Homogenität der Teststrecke für offenporige Fahrbahndeckschichten anhand von Absorptionsmessungen (optional):* Der Nachweis der Homogenität der Teststrecke für offenporige Fahrbahndeckschichten kann optional auch anhand von Absorptionsmessungen gem. DIN ISO 13472-1 [78] erfolgen. Die Anordnung der Messstellen sowie der Messpunkte erfolgt in der selben Art und Weise wie bei den Messungen des Drainverhaltens. Die Auswertung der Messungen erfolgt getrennt nach den Messstellen  $MS, n$  durch eine arithmetische Mittelwertbildung der Absorptionskoeffizienten  $\alpha_{Mittel}$  aus der Formel (7.5).

$$\alpha_{Mittel} = \frac{\sum_n \alpha_{MS,n}}{n}, n \geq 10 \quad (7.5)$$

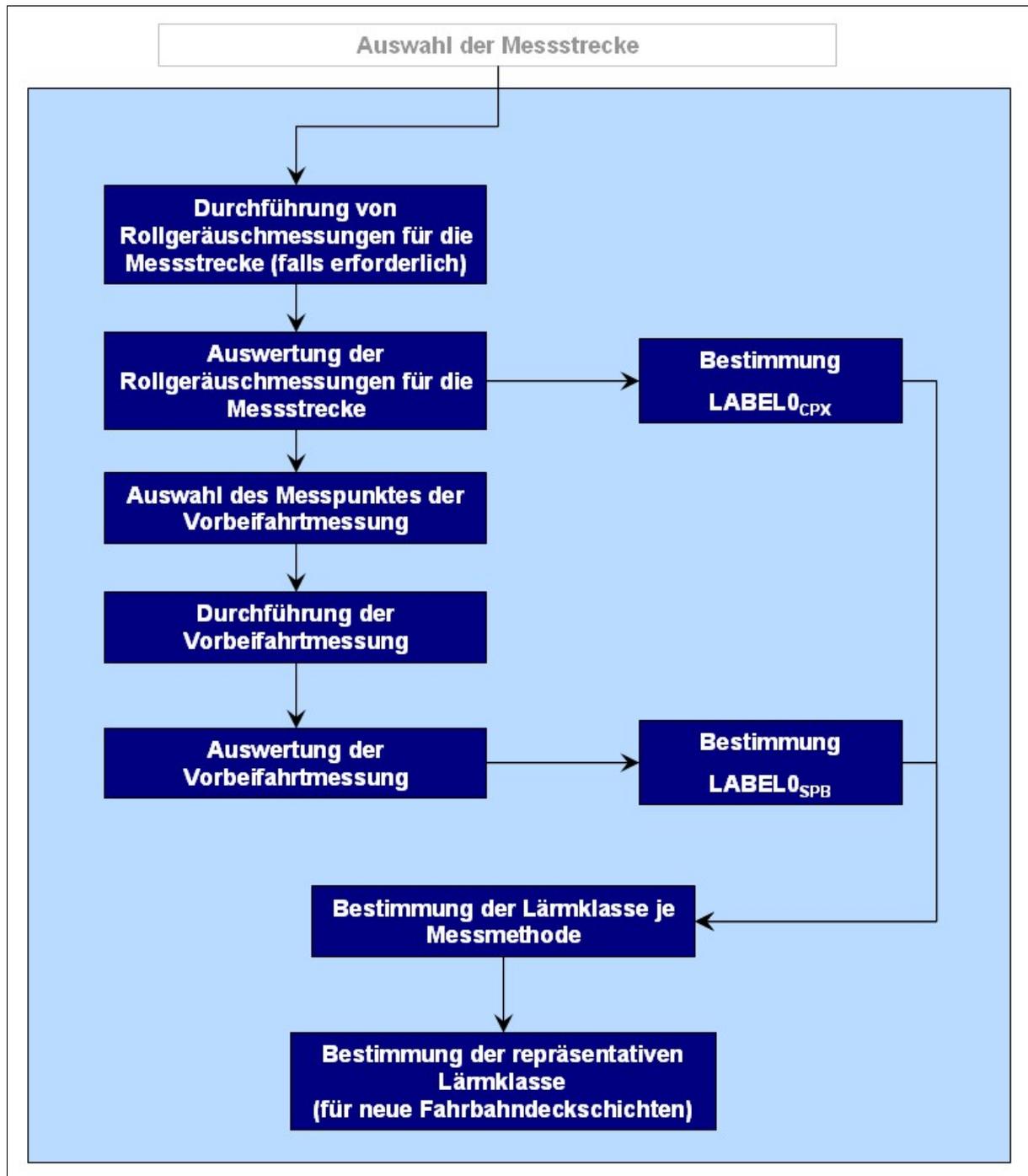
Für den Nachweis der Homogenität der Teststrecke ist für 90% der Messstellen  $MS, n$  eine maximale Differenz der Absorptionskoeffizienten  $\alpha_{MS,n}$  von  $\alpha_{Mittel}$  um  $\pm 0,1$  notwendig.

**Schritt 6 - Festlegung der Messstrecke:** Innerhalb der Teststrecke ist eine Messstrecke mit einer Mindestlänge von 100 m zur Bestimmung der LABEL- Werte auszuwählen, bei der alle 20-m- Abschnitte innerhalb der Toleranzbereiche liegen. Existiert auf der Teststrecke kein solcher 100-m- Abschnitt, so muss eine neue Teststrecke gefunden werden.

Für die nun anschließende Bestimmung der Lärmklasse(n) der Fahrbahndeckschicht sind im entwickelten akustischen Bewertungssystem für lärmindernde Fahrbahndeckschichten folgende Bearbeitungsschritte vorgesehen:

- Durchführung von Rollgeräuschmessungen für die Messstrecke (falls erforderlich)
- Auswertung der Rollgeräuschmessungen für die Messstrecke
- Bestimmung des LABEL- Wertes  $LABEL0_{CPX}$  für die Messstrecke
- Auswahl des Messpunktes der Vorbeifahrtmessungen
- Durchführung von Vorbeifahrtmessungen
- Bestimmung des LABEL- Wertes  $LABEL0_{SPB}$
- Bestimmung der Lärmklassen für neue Fahrbahndeckschichten je Messmethode
- Bestimmung der repräsentativen Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren zur Bestimmung der Lärmklasse(n) der Fahrbahndeckschicht im akustischen Bewertungssystem basiert auf der Durchführung von kombinierten Vorbeifahrtmessungen und Rollgeräuschmessungen. Abbildung 7.5 zeigt das zugehörige Ablaufdiagramm.



**Abbildung 7.5:** Ablaufdiagramm der akustischen Klassifizierung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten (Teil 2 - Bestimmung der Lärmklasse)

Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Lärmklasse(n) der Fahrbahndeckschicht gliedert sich in weitere 9 Arbeitsschritte, die im Folgenden beschrieben werden:

**Schritt 7 - Durchführung von Rollgeräuschmessungen für die Messstrecke:** Insgesamt sind für die akustische Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht 2 Messfahrten über die Messstrecke notwendig. Sind diese beiden Messdurchgänge noch nicht durch die Messungen für den Nachweis der Homogenität der Teststrecke abgedeckt, so ist eine zusätzliche Rollgeräuschmessung gem. ISO/CD 11819-2 [28] durchzuführen.

**Schritt 8 - Auswertung der Rollgeräuschmessungen für die Messstrecke:** Bei der Auswertung der Rollgeräuschmessungen für die Messstrecke werden die energieäquivalenten

Dauerschallpegel der Messreifen A und D zunächst einer Temperaturkorrektur unterworfen und anschließend in einem CPX-Index  $CPXI_n$  je Abschnitt  $n$  zusammengefasst:

$$CPXI_n = 0,5 \cdot L_{A_n} + 0,5 \cdot L_{D_n} + 0,5 \quad (7.6)$$

**Schritt 9 - Bestimmung des LABEL-Wertes  $LABEL0_{CPX}$  für die Messstrecke:**

Die Berechnung des Grundwertes zur akustischen Klassifizierung  $LABEL0_{CPX}$  erfolgt aus einer arithmetischen Mittelwertbildung über alle gemessenen Abschnitte nach der Formel (7.7).

$$LABEL0_{CPX} = \frac{\sum_n CPXI_n}{n}, n \geq 10 \quad (7.7)$$

**Schritt 10 - Auswahl des Messpunktes der Vorbeifahrtmessungen:** Der Messpunkt der Vorbeifahrtmessung ist in der Mitte der Messstrecke der Rollgeräuschmessung zu wählen.

**Schritt 11 - Durchführung von Vorbeifahrtmessungen:** Die Vorbeifahrtmessungen erfolgen gem. ISO 11819-1 [74]. Dabei sind mindestens 2 vollständige Messserien durchzuführen.

**Schritt 12 - Auswertung der Vorbeifahrtmessungen:** Bei der Auswertung der Vorbeifahrtmessungen für die Messstrecke werden für jede Fahrzeugkategorie die relevanten Vorbeifahrtpegel  $L_{SPB,i}$  jeder Messserie  $i$  zunächst einer Temperaturkorrektur unterworfen und anschließend in einem SPB-Index  $SPBI_i$  der Messserie  $i$  zusammengefasst:

$$SPBI_i = 10 \cdot \lg \left[ W_1 \cdot 10^{L_{1,i}/10} + W_2 \cdot \left( \frac{v_1}{v_2} \right) \cdot 10^{L_{2,i}/10} + W_3 \cdot \left( \frac{v_1}{v_3} \right) \cdot 10^{L_{3,i}/10} \right] \quad (7.8)$$

mit:

$W_1, W_2$ und $W_3$	.....	Bewertungsfaktoren der Verkehrszusammensetzung
$v_1, v_2$ und $v_3$	.....	Referenzgeschwindigkeiten der drei Fahrzeugkategorien 1, 2 und 3 [km/h]
$L_{1,i}, L_{2,i}$ und $L_{3,i}$	.....	relevante Vorbeifahrtpegel der drei Fahrzeugkategorien 1, 2 und 3 bei der jeweiligen Referenzgeschwindigkeit der Messserie $i$ [dB(A)]

Diese Vorgehensweise ist aber nur dann zulässig, wenn die Messergebnisse  $L_1, L_2$  bzw.  $L_3$  und die SPB-Indices der einzelnen Messdurchgänge nicht mehr als 2 dB(A) auseinander liegen. Ist dies nicht der Fall, so ist eine neue Messung durchzuführen.

**Schritt 13 - Bestimmung des LABEL-Wertes  $LABEL0_{SPB}$  für die Messstrecke:**

Die Berechnung des Grundwertes zur akustischen Klassifizierung  $LABEL0_{SPB}$  erfolgt unter Einbeziehung von mindestens 2 vollständigen Messserien ( $i \geq 2$ ) nach der Formel (7.9).

$$LABEL0_{SPB} = 10 \cdot \lg \left[ W_1 \cdot 10^{L_1/10} + W_2 \cdot \left( \frac{v_1}{v_2} \right) \cdot 10^{L_2/10} + W_3 \cdot \left( \frac{v_1}{v_3} \right) \cdot 10^{L_3/10} \right] \quad (7.9)$$

mit:

$W_1, W_2$ und $W_3$	.....	Bewertungsfaktoren der Verkehrszusammensetzung
$v_1, v_2$ und $v_3$	.....	Referenzgeschwindigkeiten der drei Fahrzeugkategorien 1, 2 und 3 [km/h]
$L_1, L_2$ und $L_3$	.....	relevante Vorbeifahrtpegel der drei Fahrzeugkategorien 1, 2 und 3 beider Messserien bei der jeweiligen Referenzgeschwindigkeit [dB(A)]

**Schritt 14 - Bestimmung der Lärmklassen je Messmethode:** Die Lärmklassen der zu klassifizierenden Fahrbahndeckschicht werden getrennt nach der Messmethode (Rollgeräuschmessung und Vorbeifahrtmessung) aus den ermittelten Grundwerten  $LABEL0_{CPX}$  und  $LABEL0_{SPB}$  durch einen Vergleich mit den Grundwerten der Referenzfahrbahndeckschicht bestimmt:

$$\Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX,Ref.} - LABEL0_{CPX} \quad (7.10)$$

$$\Delta x_{SPB} = LABEL0_{SPB,Ref.} - LABEL0_{SPB} \quad (7.11)$$

**Schritt 15 - Bestimmung der repräsentativen Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht nach Deckschichtlegung:** Die repräsentative Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht  $LK$  wird durch eine Maximalwertbildung nach Formel (7.12) bestimmt.

$$LK = Max \{LK_{SPB}, LK_{CPX}\} \quad (7.12)$$

## 7.4 Akustische Qualitätskontrolle

### 7.4.1 Modell der akustischen Qualitätskontrolle von Fahrbahndeckschichten

Im Rahmen der akustischen Qualitätskontrolle von Fahrbahndeckschichten ist der Nachweis der akustischen Klassifizierung bzw. der klassifizierten Lärmklasse direkt nach Deckschichtlegung zu erbringen (Abnahmeprüfung). Dabei darf das Deckschichtalter maximal 6 Monate betragen. Des Weiteren darf zwischen Deckschichtlegung und der Durchführung der akustischen Qualitätskontrolle der Fahrbahndeckschicht keine Winterperiode liegen, um einen möglichen Abfall des Lärminderungspotenziales während des Winters ausschließen zu können.

Bei der Durchführung der akustischen Qualitätskontrolle können zwei verschiedene Fälle auftreten:

1. die eingesetzte Fahrbahndeckschicht ist bereits akustisch klassifiziert
2. für die eingesetzte Fahrbahndeckschicht liegt keine akustische Klassifizierung vor

Ist die Fahrbahndeckschicht bereits akustisch klassifiziert, so erfolgt die akustische Qualitätskontrolle innerhalb der standardmäßig durchzuführenden Abnahmeprüfung (im Rahmen einer zusätzlichen "akustischen Abnahmeprüfung"), wobei hier spezielle Anforderungen an diejenigen Material- bzw. Deckschichtparameter gestellt werden, die größtenteils für das Lärminderungspotenzial der Fahrbahndeckschicht verantwortlich sind. Das betrifft

- Anforderungen an den Hohlraumgehalt,
- Anforderungen an die Sieblinie und
- Anforderungen an die Schichtdicke

der Fahrbahndeckschicht. Können die angegebenen Bandbreiten der Material- bzw. der Schichtparameter der Fahrbahndeckschicht erfüllt werden, so gilt dies auch als Nachweis für die Einhaltung der entsprechenden Lärmklasse. Somit entfällt die Notwendigkeit eines messtechnischen Nachweises der angegebenen Lärmklasse durch Vorbeifahrtmessungen und/oder Rollgeräuschmessungen. Im Falle einer Nichteinhaltung dieser Bandbreiten sind zusätzliche Lärmmessungen an der abzunehmenden Fahrbahndeckschicht durchzuführen. Kann mit Hilfe der Lärmmessungen der Nachweis der Lärmklasse erbracht werden, so gilt die Fahrbahndeckschicht als akustisch abgenommen. Ist der Nachweis nicht möglich, kommt es zu einem Qualitätsabzug oder es werden bautechnische Maßnahmen gefordert.

Liegt für die eingesetzte Fahrbahndeckschicht keine akustische Klassifizierung vor, so kann der Nachweis einer Lärmklasse nur durch die Ausführung und Auswertung von Lärmmessungen (Rollgeräuschmessungen und Vorbeifahrtmessungen) erfolgen. Dieser Fall ist allerdings nur dann möglich, wenn im Rahmen einer Ausschreibung eine gewisse Lärmklasse gefordert wurde und sich der Auftraggeber für die angebotene Fahrbahndeckschicht entschieden hat, obwohl noch keine akustische Klassifizierung für dieses Deckschichtprodukt vorliegt. Für die Bestimmung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht ist dann in der selben Art und Weise wie bei der akustischen Klassifizierung vorzugehen. Kann nach Durchführung der Lärmmessungen die gewünschte akustische Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht erreicht werden, so ist die akustische Abnahme erfüllt. Ist der Nachweis nicht möglich, kommt es zu einem Qualitätsabzug oder es werden bautechnische Maßnahmen gefordert.

Diese Vorgehensweise zum Nachweis eines bestimmten Lärmemissionsverhaltens stellt ein strengeres Verfahren als das zur Zeit im Rahmen der Abnahmeprüfung angewandte dar. Es beinhaltet aber den Vorteil für den Deckschichthersteller, die durchgeführte akustische Klassifizierung und damit die bestimmte Lärmklasse für eine spätere, weitere Anwendung des Produktes verwenden zu können.

Die Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle einer Fahrbahndeckschicht ist in Abbildung 7.6 schematisch dargestellt.

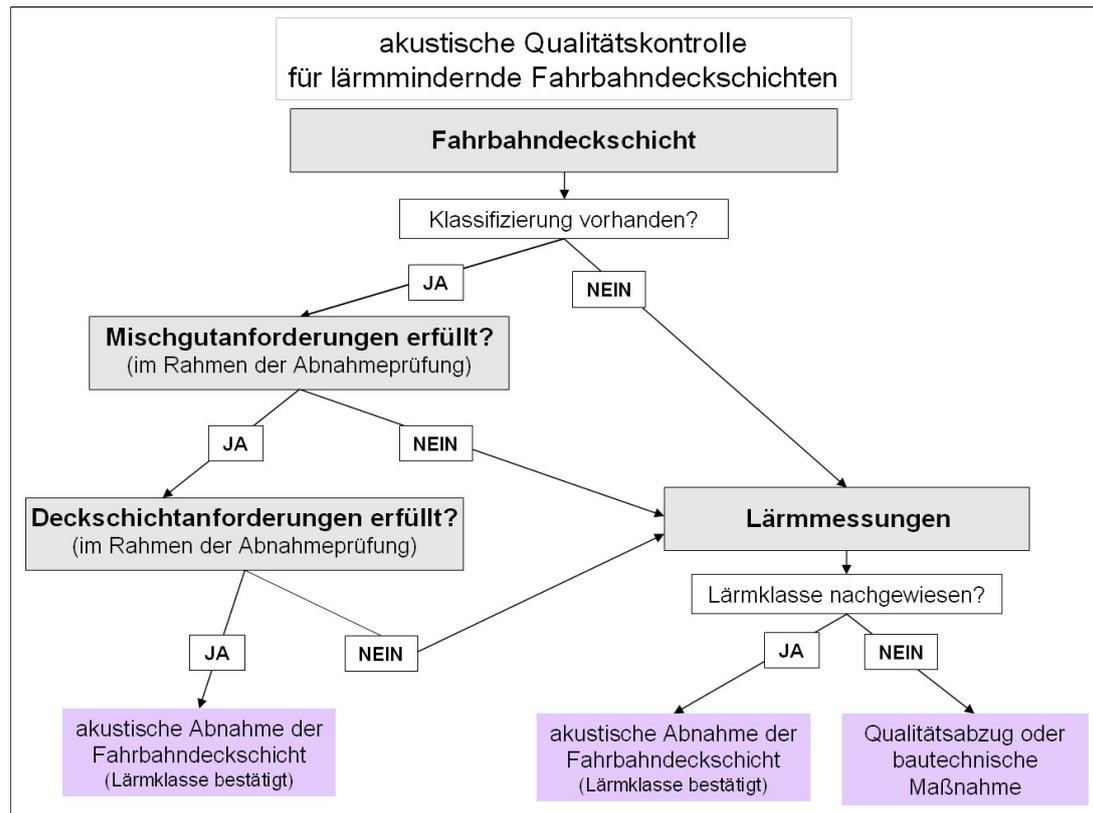


Abbildung 7.6: Schematische Darstellung der akustischen Qualitätskontrolle einer Fahrbahndeckschicht

#### 7.4.2 Ablauf der akustischen Qualitätskontrolle einer Fahrbahndeckschicht

Die Durchführung der akustischen Qualitätskontrolle einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht verläuft, je nachdem, ob die eingesetzte Fahrbahndeckschicht bereits klassifiziert ist oder nicht, unterschiedlich ab.

Liegt eine akustische Klassifizierung vor, so sind folgende Schritte zum Nachweis der angegebenen Lärmklasse durchzuführen:

- Nachweis der Mischgutanforderungen im Rahmen der generellen Abnahmeprüfung
- Nachweis der Deckschichtanforderungen im Rahmen der generellen Abnahmeprüfung
- Durchführung und Auswertung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten)
- Nachweis der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht

Abbildung 7.7 zeigt das Ablaufdiagramm für die akustische Qualitätskontrolle einer bereits klassifizierten Fahrbahndeckschicht.

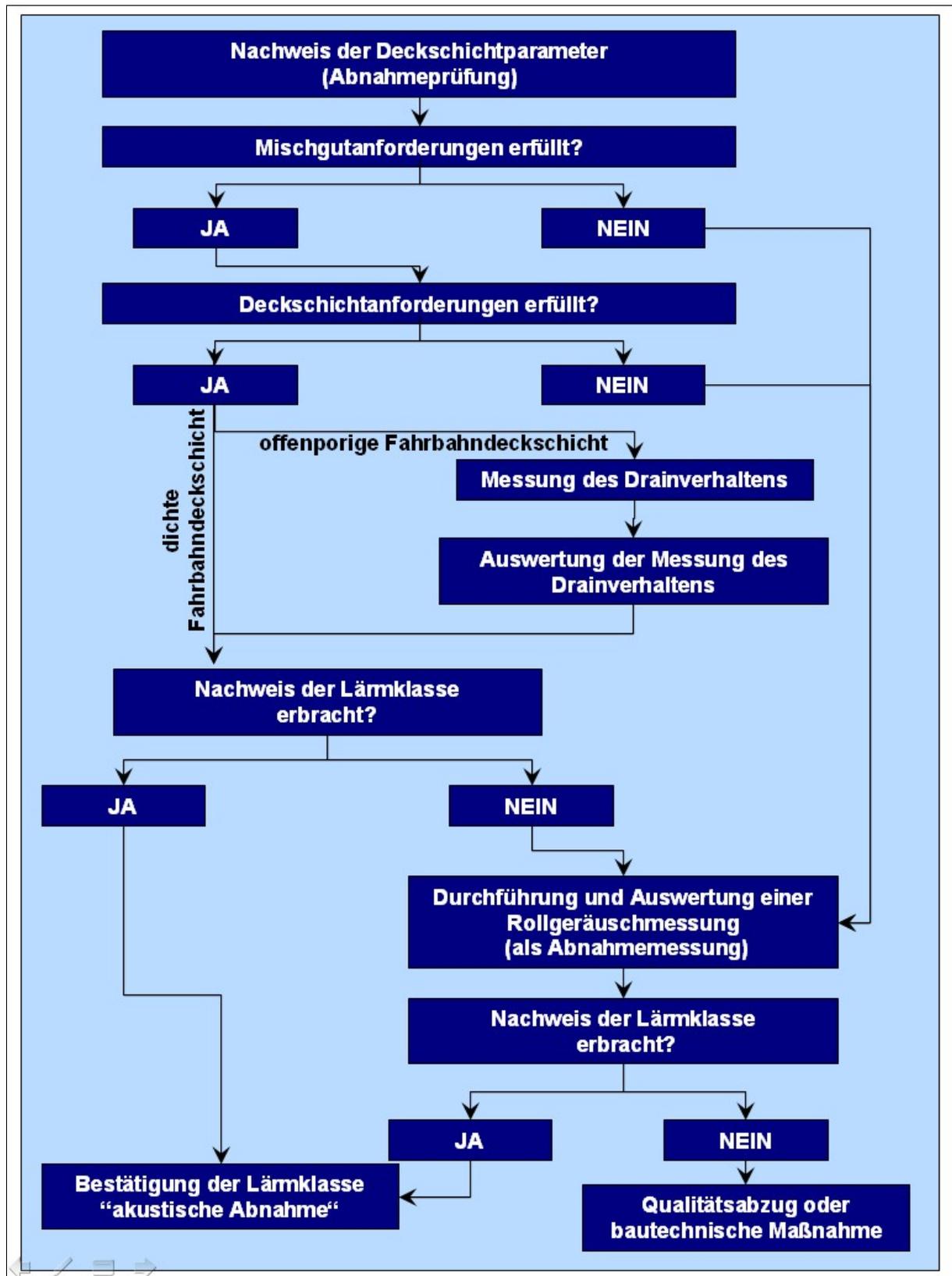


Abbildung 7.7: Ablaufdiagramm für die akustische Qualitätskontrolle von bereits klassifizierten Fahrbahndeckschichten

Die Vorgehensweise zum Nachweis der angegebenen Lärmklasse gliedert sich in insgesamt 6 Arbeitsschritte:

**Schritt 1 - Nachweis der Mischgutanforderungen im Rahmen der generellen Ab-**

**nahmeprüfung:** Bei der akustischen Qualitätskontrolle einer Fahrbahndeckschicht haben alle Materialparameter innerhalb der Merkmal-Bandbreiten aus der CE-Kennzeichnung zu liegen. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei auf die Korngrößenverteilung der Fahrbahndeckschicht zu legen. Die Merkmal-Bandbreiten aus der CE-Kennzeichnung in der Sieblinie sind dabei gem. den Anforderungen an die Abnahmeprüfung des jeweiligen Fahrbahndeckschichttyps (bei einer Standardbauweise) und gem. den eigenen Angaben (bei einer Sonderbauweise) einzuhalten. Können diese Kriterien nicht eingehalten werden, so sind zum Nachweis der Lärmklasse der abzunehmenden Fahrbahndeckschicht zusätzliche Lärmmessungen durchzuführen (Schritte 6a bis 6e).

**Schritt 2 - Nachweis der Deckschichtanforderungen im Rahmen der generellen Abnahmeprüfung:** Nach Deckschichtlegung sind folgende maximalen Abweichungen des Hohlraumgehaltes und der Deckschichtdicke vom angegebenen Sollwert einzuhalten:

- Hohlraumgehalt der Fahrbahndeckschicht: die einzuhaltende maximale Abweichung vom Sollwert des Hohlraumgehaltes beträgt  $\pm 2,5$  Vol-%. Kann dieser Toleranzwert nicht eingehalten werden, so ist eine Lärmpegeländerung um ca. 2 dB(A) zu erwarten, was eine Änderung der Lärmklasse bewirken würde.
- Schichtdicke der Fahrbahndeckschicht: Bei offenporigen Fahrbahndeckschichten ist für die Schichtdicke der eingebauten Fahrbahndeckschicht eine Abweichung von maximal -10% vom Sollwert einzuhalten.

Können diese Kriterien nicht eingehalten werden, so sind zum Nachweis der Lärmklasse der abzunehmenden Fahrbahndeckschicht zusätzliche Lärmmessungen durchzuführen (Schritte 6a bis 6e).

**Schritt 3 - Durchführung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Messung des Drainverhaltens erfolgt gem. RVS 11.06.61 [77]. Die Messungen der Durchflusszeiten erfolgen dabei an mindestens 3 innerhalb einer Messstrecke von 100 m Länge liegenden Messstellen, die einen Minimalabstand von 20 m zueinander aufzuweisen haben.

**Schritt 4 - Auswertung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Auswertung der Messung des Drainverhaltens erfolgt getrennt nach den Messstellen  $MS$  durch eine arithmetische Mittelwertbildung der einzelnen Durchflusszeiten  $t_i$  nach der Formel (7.13).

$$T_{\text{Drain},MS} = \frac{\sum_i t_i}{i}, i \geq 12 \quad (7.13)$$

**Schritt 5 - Bestimmung des LABEL-Wertes  $LABEL0_{\text{Drain}}$  (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Bestimmung des LABEL-Wertes  $LABEL0_{\text{Drain}}$  erfolgt durch eine arithmetische Mittelwertbildung über alle durchgeführten Messungen an den Messstellen  $MS$  nach der Formel (7.14).

$$LABEL0_{\text{Drain}} = T_{\text{Drain},\text{Mittel}} = \frac{\sum_n T_{\text{Drain},MS,n}}{n}, n \geq 3 \quad (7.14)$$

**Schritt 6 - Nachweis der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Für offenporige Fahrbahndeckschichten ist zusätzlich

(zu den Nachweisen der Mischgut- bzw. Deckschichtanforderungen) eine Durchflusszeit ( $T_{\text{Drain,Mittel}}$ ) von maximal 25 sec. einzuhalten. Ist dies nicht möglich, sind zusätzliche Lärmmessungen an der abzunehmenden Fahrbahndeckschicht durchzuführen (Schritte 6a bis 6e).

*Schritt 6a - Durchführung einer Rollgeräuschmessung als Abnahmemessung:* An der zu überprüfenden Fahrbahndeckschicht ist an einer Messstrecke von mindestens 500 m Länge eine Rollgeräuschmessung gem. ISO/CD 11819-2 [28] nach der Überblicksmethode durchzuführen.

*Schritt 6b: Auswertung der Rollgeräuschmessung:* Bei der Auswertung der Rollgeräuschmessung für die Messstrecke wird der energieäquivalente Dauerschallpegel der Messreifen A und D zunächst einer Temperaturkorrektur unterworfen und anschließend in einem CPX-Index  $CPXI_{n,Abnahme}$  je Auswerteabschnitt  $n = 20 m$  zusammengefasst:

$$CPXI_{n,Abnahme} = 0,5 \cdot L_{A_n,Abnahme} + 0,5 \cdot L_{D_n,Abnahme} + 0,5 \quad (7.15)$$

*Schritt 6c - Bestimmung des LABEL- Wertes  $LABEL0_{CPX}$  für die Messstrecke:* Die Berechnung des Grundwertes  $LABEL0_{CPX}$  erfolgt aus einer arithmetischen Mittelwertbildung über alle gemessenen Abschnitte nach der Formel (7.16).

$$LABEL0_{CPX} = \frac{\sum_n CPXI_{n,Abnahme}}{n}, n \geq 25 \quad (7.16)$$

Diese Mittelwertbildung aller Messabschnitte ist allerdings nur dann zulässig, wenn die CPX-Indices  $CPXI_{n,Abnahme}$  der einzelnen Messabschnitte und der errechnete CPX-Index der gesamten Messfahrt jeweils nicht mehr als 0,5 dB(A) auseinander liegen. Ist dies nicht der Fall, so ist eine neue Messstrecke zu wählen.

*Schritt 6d - Bestimmung der Lärmklasse:* Die Lärmklasse der zu bewertenden Fahrbahndeckschicht wird nach dem ermittelten Grundwert  $LABEL_{CPX}$  durch einen Vergleich mit den Grundwerten der Referenzfahrbahndeckschicht bestimmt:

$$\Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX,Ref.} - LABEL0_{CPX} \quad (7.17)$$

*Schritt 6e - Bestätigung der angegebenen Lärmklasse:* Der Nachweis der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht erfolgt in einem Vergleich der ermittelten Lärmklasse mit der angegebenen Lärmklasse. Ist  $LK_{ermittelt} \leq LK_{angegeben}$ , kann die angegebene Lärmklasse bestätigt werden. Ist  $LK_{ermittelt} > LK_{angegeben}$ , gilt der Nachweis der Lärmklasse als nicht erbracht, was - je nach Vertrag - entweder einen Qualitätsabzug oder die Durchführung einer bautechnischen Maßnahme nach sich zieht.

Liegt für die eingesetzte Fahrbahndeckschicht keine akustische Klassifizierung vor und wurde diese vom Auftraggeber dennoch für die Ausführung zugelassen, so ist der Nachweis der Lärmklasse im Nachhinein durch die Durchführung einer akustischer Klassifizierung (durch Lärmmessungen) zu erbringen. Dieser erfolgt danach in einem Vergleich der ermittelten Lärmklasse  $LK_{ermittelt}$  mit der geforderten Lärmklasse  $LK_{gefordert}$ . Ist  $LK_{ermittelt} \leq LK_{gefordert}$ , kann die akustische Abnahmeprüfung erfolgreich abgeschlossen werden. Ist  $LK_{ermittelt} > LK_{gefordert}$ , kann der Nachweis der Lärmklasse nicht erbracht werden. Das kann - je nach Vertrag - entweder einen Qualitätsabzug oder die Durchführung einer bautechnischen Maßnahme zur Folge haben.

## 7.5 Betrachtung des Alterungsverhaltens

### 7.5.1 Modell des akustischen Monitorings von Fahrbahndeckschichten

#### 7.5.1.1 Allgemeines

Das akustische Alterungsverhalten einer Fahrbahndeckschicht wird heutzutage im Ausschreibungsprozess nicht direkt berücksichtigt. Nach Deckschichtlegung wird das Lärmemissionsverhalten des Produktes im Rahmen der Abnahmeprüfung durch Rollgeräuschmessungen überprüft. Danach bestehen für den Auftragnehmer keine weiteren Verpflichtungen zur Erfüllung etwaiger Lärminderungspotenziale während der Liegedauer der Fahrbahndeckschicht.

Allerdings kann der Deckschichthersteller dem Auftraggeber Informationen über ein mögliches Alterungsverhalten seines Produktes zukommen lassen. Diese Informationen haben dann einen rein informellen Charakter. Eine Berücksichtigung des akustischen Alterungsverhaltens bei der Auswahl der Fahrbahndeckschicht obliegt somit allein dem Auftraggeber.

Im entwickelten akustischen Bewertungssystem wird hingegen das Alterungsverhalten einer Fahrbahndeckschicht durch die Angabe einer Lärmklasse nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer berücksichtigt. Die Vorgehensweise beim akustischen Monitoring einer Fahrbahndeckschicht nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer ist in Abbildung 7.8 schematisch dargestellt.

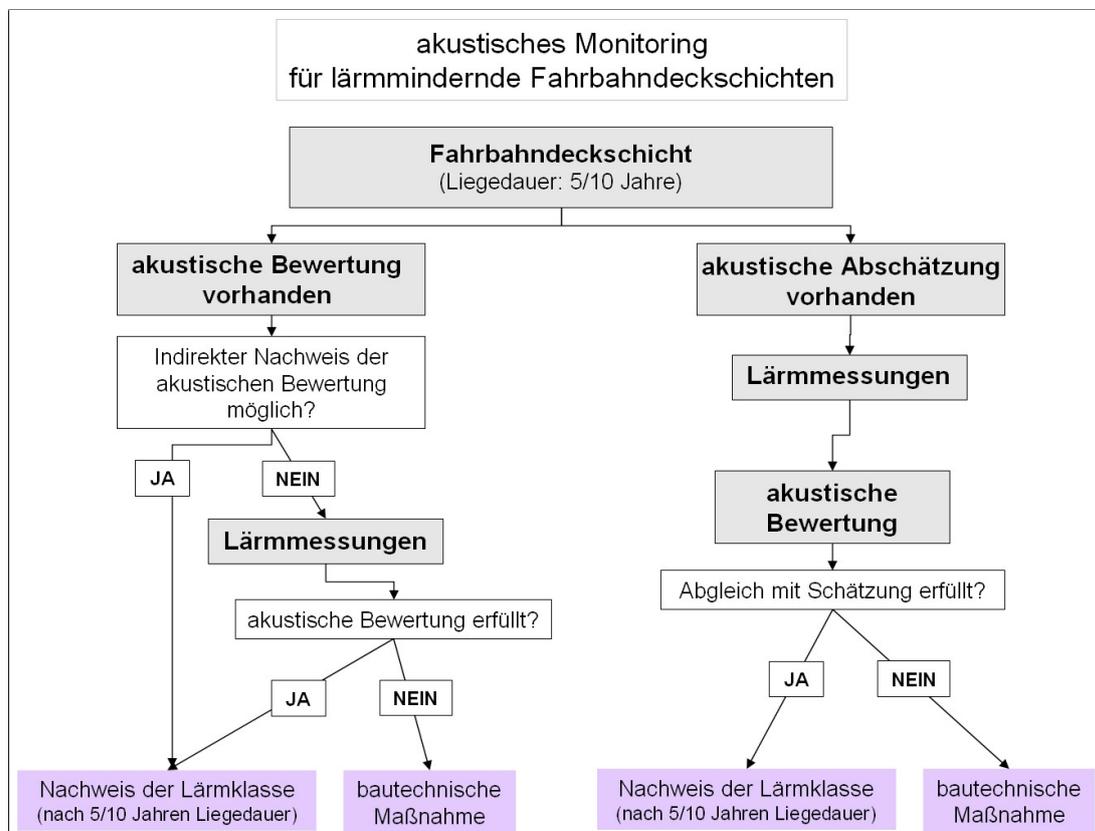


Abbildung 7.8: Schematische Darstellung des akustischen Monitorings einer Fahrbahndeckschicht

Für das (erste) durchzuführende akustische Monitoring (zur Berücksichtigung des Alterungsverhaltens der Fahrbahndeckschicht) nach 5 Jahren Liegedauer können demnach zwei

verschiedene Fälle auftreten:

1. für die vorhandene Fahrbahndeckschicht existiert eine akustische Bewertung nach 5 Jahren Liegedauer (Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer definiert)
2. für die vorhandene Fahrbahndeckschicht existiert eine Abschätzung einer akustischen Bewertung nach 5 Jahren Liegedauer (Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer wurde abgeschätzt)

*Fall 1:* Liegt für die vorhandene Fahrbahndeckschicht eine akustische Bewertung nach 5 Jahren Liegedauer vor, so wurde der Fahrbahndeckschicht durch eine definierte Vorgehensweise der Durchführung und Auswertung von Rollgeräuschmessungen eine Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer zugewiesen und in einem Bewertungsformular festgehalten; damit tritt auch die Gewährleistung in Kraft. Im Rahmen des akustischen Monitorings (der Überprüfung des angegebenen akustischen Alterungsverhaltens) nach 5 Jahren Liegedauer dieser Fahrbahndeckschicht hat ein Nachweis der angegebenen bewerteten Lärmklasse zu erfolgen. Dieser Nachweis geht mit Hilfe einer visuellen Zustandserfassung von statten. Eine zusätzlich durchgeführte Verkehrszählung dient als Absicherung des Auftragnehmers, da eine Erhöhung des Lärmpegels aufgrund einer gesteigerten Verkehrsbelastung nicht zu Lasten der Fahrbahndeckschicht gezählt werden kann und darf.

Die Durchführung von Rollgeräuschmessungen ist nicht unbedingt notwendig, allerdings immer möglich. Für offenporige Fahrbahndeckschichten ist zusätzlich eine Messung des Drainverhaltens durchzuführen. Kann aufgrund der durchgeführten Messungen der Nachweis der angegebenen Lärmklasse (nach 5 Jahren Liegedauer) erbracht werden, so sind keine weiteren Lärmmessungen mehr notwendig. Wird der Nachweis allerdings nicht erbracht, ist die angegebene Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht mit Hilfe von durchgeführten Rollgeräuschmessungen zu bestätigen. Kann durch die Lärmmessungen der Nachweis ebenfalls nicht erbracht werden, haben bautechnische Maßnahmen zu erfolgen (Ersatz der Fahrbahndeckschicht oder z.Bsp. eine Überbauung mit einer Dünnschichtdecke)<sup>(a)</sup>.

*Fall 2:* Liegt für die vorhandene Fahrbahndeckschicht lediglich eine Abschätzung der akustischen Eigenschaften nach 5 Jahren Liegedauer vor, so wurde dem Produkt vom Deckschichthersteller eine "provisorische" Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer zugewiesen. Die Abschätzung der Lärmklasse kann entweder aus bereits vorhandenen Informationen über das Lärmverhalten des zugeordneten Fahrbahndeckschichttyps (der "Deckschichtfamilie") oder aus Prognosen aus bereits an dieser Fahrbahndeckschicht durchgeführten Lärmmessungen erfolgen. Der Deckschichthersteller kann somit bei einer Ausschreibung sein Produkt durch Angabe einer akustischen Abschätzung über einen gewissen Zeitabschnitt (Angabe einer Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer) anbieten und somit möglicherweise einen Wettbewerbsvorteil erreichen. Allerdings tritt damit auch ein Gewährleistungsanspruch des Auftraggebers in Kraft. Im Rahmen des akustischen Monitorings (der Überprüfung des angegebenen akustischen Alterungsverhaltens) ist nach 5 Jahren Liegedauer dieser Fahrbahndeckschicht die Abschätzung der Lärmklasse zu bestätigen.

Dieser Nachweis erfolgt mit Hilfe von durchgeführten Rollgeräuschmessungen. Ist die

---

<sup>a</sup>Anmerkung: Im Prinzip entspricht diese Vorgehensweise dem bereits heute geregelten Nachweis der Griffigkeitsanforderungen an "A+S"-Straßen vor Ablauf der Gewährleistungsfrist.

bei den Lärmmessungen bestimmte Lärmklasse gleich oder sogar niedriger als die abgeschätzte Lärmklasse, so gilt die abgeschätzte Lärmklasse als bestätigt und der untersuchten Fahrbahndeckschicht kann die ermittelte Lärmklasse zugeordnet werden. Kann die abgeschätzte Lärmklasse allerdings nicht nachgewiesen werden, haben bautechnische Maßnahmen zu erfolgen (Ersatz der Fahrbahndeckschicht oder z.Bsp. eine Überbauung mit einer Dünnschichtdecke).

Liegt für eine bereits 5 Jahre liegende Fahrbahndeckschicht weder eine akustische Bewertung noch eine Abschätzung der akustischen Eigenschaften nach 5 Jahren Liegedauer vor, so kann der Deckschichthersteller im eigenen Interesse eine akustische Bewertung dieser Fahrbahndeckschicht durchführen und dieser somit eine Lärmklasse zuordnen. Diese Zuordnung hat mit Hilfe von durchgeführten Rollgeräuschmessungen in der selben Art und Weise wie im zuvor beschriebenen Fall 2 zu erfolgen (siehe auch Abbildung 7.8) und dient einer Verbesserung der Datengrundlage zur Bewertung des Lärmemissionsverhaltens des untersuchten Deckschichtproduktes. Bei einer nochmaligen Anwendung dieser Fahrbahndeckschicht kann der Deckschichthersteller bei seiner Angebotslegung dann eine Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer angeben (siehe Fall 1).

Durch dieses Monitoring über die Liegedauer wird das Wissen über das Lärmemissionsverhalten der untersuchten Fahrbahndeckschicht von Durchführung zu Durchführung detaillierter. Die Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer kann dann als Grundlage für eine Abschätzung des Lärmverhaltens der Fahrbahndeckschicht nach einer Liegedauer von 10 Jahren herangezogen werden. Im akustischen Monitoring nach 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschicht kann die abgeschätzte Lärmklasse nach 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschicht zugeordnet werden. Durch diesen dynamischen Vorgang lässt sich das akustische Alterungsverhalten einer speziellen Fahrbahndeckschicht im Laufe der Zeit immer gründlicher erfassen.

#### *7.5.1.2 Berücksichtigung der Verkehrsbelastung*

Mit steigender Verkehrsbelastung steigt auch der Schallemissionspegel. Ändert sich die Verkehrsbelastung an einem Bauelement im Laufe der Jahre, so könnte dies durchaus auch zu einer Änderung der Lärmklasse führen. Um dies ausschließen zu können, sollten Verkehrsprognosen aufgrund von bestehenden Berechnungsmodellen durchgeführt werden (siehe dazu z.Bsp. [152]), um für den speziellen Fall die theoretische Lärmklasse nach mehreren Jahren Liegedauer entweder bestätigen zu können oder gegebenenfalls ändern zu müssen.

Die Einhaltung der Lärmklassen nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer LK 5 bzw. LK 10 wird - wie bereits beschrieben - auf Basis des Oberflächenzustandes überprüft. Da eine erhöhte Verkehrsbelastung auch eine Verschlechterung des Oberflächenzustandes bedingen kann, muss dieser Einfluss bei der Beurteilung des Alterungsverhaltens einer Fahrbahndeckschicht fairerweise dem Auftragnehmer gegenüber berücksichtigt werden. Das heißt, die Ableitung der Lärmklasse LK 5 aus dem Oberflächenzustand ist nur dann zulässig (bzw. fair durchzuführen), wenn die vorhandene Verkehrsbelastung innerhalb des bei der Neuanlage der Fahrbahndeckschicht angesetzten Prognoseverkehrs liegt. Ist dies nicht der

Fall, wird die Gewährleistungspflicht des Auftragnehmers hinfällig.

Allerdings ist im Normalfall erst ab einem Anstieg der Verkehrsbelastung um ca. 30% mit einer Änderung der Lärmklasse zu rechnen (siehe dazu auch Abschnitt 2.3.2.1 dieser Arbeit).

### 7.5.1.3 Beurteilung aufgrund des Oberflächenzustandes von Fahrbahndeckschichten

Während der Liegedauer einer Fahrbahndeckschicht können aufgrund von Verkehrsbelastung, Witterung und Materialabnützungen Schäden an der Fahrbahndeckschichtoberfläche zu einer Erhöhung des Emissionspegels einer Fahrbahndeckschicht führen. Hauptausschlaggebend für diese Erhöhung der Emissionspegel bei Fahrbahndeckschichten sind vor allem Oberflächenschäden (Asphaltbauweise), Querrisse (Betonbauweise) und Unebenheiten der Oberfläche (Asphalt- und Betonbauweise).

Der Zusammenhang zwischen Emissionspegel und Oberflächenzustand ist heutzutage noch nicht eindeutig erforscht. Erste Analysen dazu wurden im EU-Projekt SILENCE durchgeführt (Details siehe [153] und [154]). Ebenso sind in Dänemark Lärmmessungen an Fahrbahndeckschichten mit unterschiedlichen Zustandklassen durchgeführt und ausgewertet worden (siehe [155]).

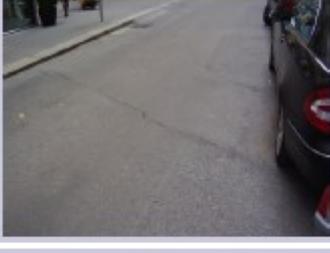
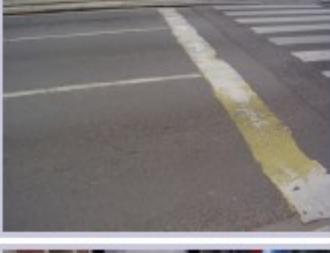
Die Bestimmung des Oberflächenzustandes für die akustische Bewertung von lärm-mindernden Fahrbahndeckschichten wird mit Hilfe einer visuellen Zustandserfassung durchgeführt. Die Erfassung erfolgt dabei im Rahmen einer Begehung des zu untersuchenden Straßenabschnittes.

Für die Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betonstraßen ist für die beiden Straßenkategorien "A+S" und "sonstige Freilandstraßen" die RVS 13.01.41 [156], die RVS 13.01.51 [157] bzw. die RVS 13.01.11 [158] heranzuziehen, für die Straßenkategorie "Stadtstraßen" das "Handbuch - Bauliche Erhaltung kommunaler Straßen" [159]. Die Bewertung des Oberflächenzustandes erfolgt durch die Zuhilfenahme eines Notensystems, bei dem Bewertungen von 1-5 möglich sind (siehe Tabelle 7.4, 7.5 und 7.6).

Wird bei der visuellen Zustanderfassung an einem Straßenabschnitt die Zustandsklasse 3 "mittelmäßiger Zustand" erreicht, so ist von einer Änderung der Lärmklasse der untersuchten Fahrbahndeckschicht auszugehen. Allerdings kann hier aufgrund der geringen vorhandenen Datenlage nur von einer begründeten Abschätzung gesprochen werden!

Ebenso ist die Längsebenheit dann zu betrachten, wenn ein "Verdacht" auf einen Mangel besteht. In diesem Fall wird eventuell eine Messung der Längsebenheit oder gleich eine Lärmmessung empfohlen.

**Tabelle 7.4:** Bewertung des Oberflächenzustandes - Ebenheit in Quer- und Längsrichtung [159]

Klasse	Beschreibung	Bildinformation
1	keine Unebenheiten in Quer- oder Längsrichtung erkennbar	
2	Vereinzelt kleine Unebenheiten in Quer- oder Längsrichtung erkennbar (z.B. Spurrinntiefe unter 5mm); keine Beeinträchtigung der Nutzung	
3	Unebenheiten in Quer- und/oder Längsrichtung erkennbar (z.B. Spurrinntiefe ab 5mm), jedoch keine Beeinträchtigung der Nutzung	
4	Ausgeprägte Unebenheiten in Quer- und/oder Längsrichtung erkennbar, Beeinträchtigung der Nutzung (z.B. Spritzwasser)	
5	Stark ausgeprägte Unebenheiten in Quer- und/oder Längsrichtung, Aufwölbungen; starke Beeinträchtigung der Nutzung (Spritzwasser, Aquaplaninggefahr bei höheren Geschwindigkeiten)	

**Tabelle 7.5:** Zustandsklassen des Oberflächenzustandes von Fahrbahndeckschichten

ZUSTANDSKLASSE	BESCHREIBUNG DES ZUSTANDES	GRAD DER OBERFLÄCHENSCHÄDEN
1	sehr guter Zustand	keine Schädigung vorhanden
2	guter Zustand	leichte Schäden erkennbar
3	mittelmäßiger Zustand	Schäden eindeutig erkennbar
4	mangelhafter Zustand	deutliche Schäden erkennbar
5	schlechter Zustand	stark ausgeprägte Schäden erkennbar

**Tabelle 7.6:** Bewertung des Oberflächenzustandes - Risse und andere strukturelle Schäden [159]

Klasse	Beschreibung	Bildinformation
1	keine Schäden erkennbar	
2	Vereinzelt kleine Schäden erkennbar (z.B. kleine Risse); keine Beeinträchtigung der Nutzung	
3	Schäden unterschiedlicher Art erkennbar (Ausbrüche, Ablösungen, Risse), jedoch keine Beeinträchtigung der Nutzung und/oder geringe strukturelle Beeinträchtigung	
4	Umfangreiche Schäden erkennbar (Ausbrüche, Schlaglöcher, offene Risse, Fugenschäden, etc.); Beeinträchtigung der Nutzung und/oder maßgebende strukturelle Beeinträchtigung (Tragfähigkeit)	
5	Großflächige Schäden erkennbar (Schlaglöcher, Abplatzungen, Netzrisse etc.); starke Beeinträchtigung der Nutzung und/oder starke strukturelle Beeinträchtigung (Tragfähigkeit)	

### 7.5.2 Ablauf des akustischen Monitorings einer Fahrbahndeckschicht

Im entwickelten akustischen Bewertungsverfahren lärmindernder Fahrbahndeckschichten wird für die Berücksichtigung des Alterungsverhaltens der vorhandenen Fahrbahndeckschicht alle 5 Jahre nach Deckschichtlegung ein akustisches Monitoring an dieser Fahrbahndeckschicht vorgesehen. Im Folgenden wird dieses anhand einer "Abnahmeprüfung" nach einer Liegedauer von 5 Jahren beschrieben. Die Durchführung verläuft, je nachdem, ob für die vorhandene Fahrbahndeckschicht eine akustische Bewertung nach 5 Jahren Liegedauer existiert oder ob lediglich eine Abschätzung der akustischen Bewertung (der Lärmklasse) nach 5 Jahren Liegedauer vorhanden ist, unterschiedlich ab.

Liegt für die Fahrbahndeckschicht eine akustische Bewertung nach 5 Jahren Liegedauer vor, existiert somit für diese Fahrbahndeckschicht eine Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer (LK 5). Abbildung 7.9 zeigt das Ablaufdiagramm für das akustische Monitoring einer nach einer Liegedauer von 5 Jahren akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht.

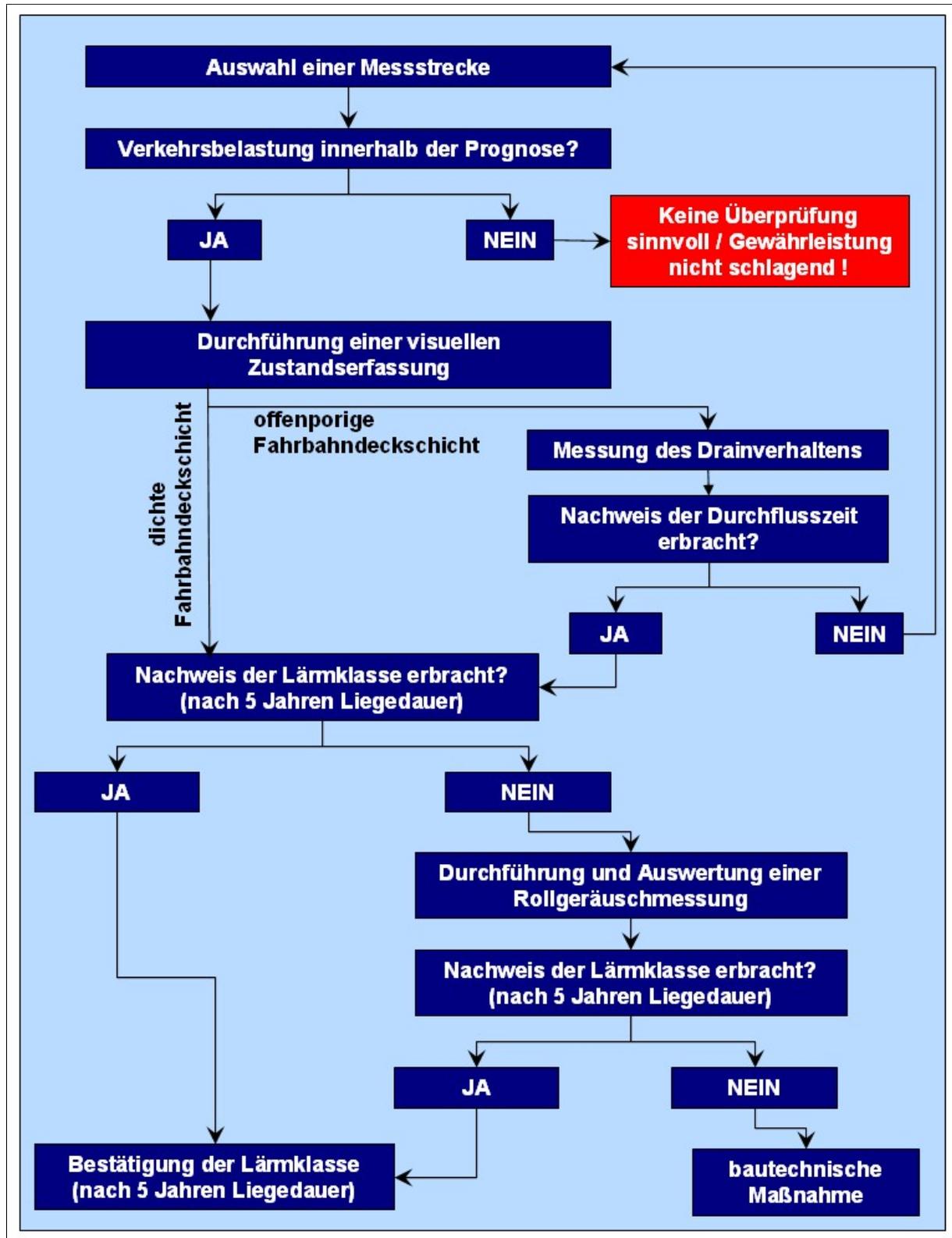


Abbildung 7.9: Ablaufdiagramm für das akustische Monitoring einer nach einer Liegedauer von 5 Jahren akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht

Zum Nachweis der angegebenen Lärmklasse sind folgende Schritte durchzuführen:

- Auswahl einer Messstrecke (innerhalb des Bauloses)
- Abschätzung der Verkehrsbelastung
- Durchführung einer visuellen Zustandserfassung
- Durchführung und Auswertung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten)
- Nachweis der Durchflusszeit der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten)
- Bestätigung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht

Kann der Nachweis der Lärmklasse auf diese Art und Weise nicht erbracht werden, ist die Durchführung einer zusätzlichen Rollgeräuschemessung notwendig.

Die Vorgehensweise zum Nachweis der angegebenen Lärmklasse gliedert sich in insgesamt 8 Arbeitsschritte:

**Schritt 1 - Auswahl einer Messstrecke:** Die Messstrecke ist an einem repräsentativen Straßenabschnitt der bewerteten Straßenkategorie (durchschnittliche Verkehrsbelastung und Geschwindigkeitsniveau) zu wählen.

**Schritt 2 - Abschätzung der Verkehrsbelastung:** An der Messstrecke ist eine Abschätzung der Verkehrsbelastung durchzuführen. Liegt diese Verkehrsbelastung nicht innerhalb des bei der Neuanlage der Fahrbahndeckschicht angesetzten Prognoseverkehrs, so ist eine akustische Bewertung der Fahrbahndeckschicht nicht sinnvoll und sollte auch nicht durchgeführt werden. Sie ist auch nicht notwendig, da in diesem Fall auch die Gewährleistungspflicht des Auftragnehmers hinfällig wird. Zeigt die Verkehrsbelastung keine signifikanten Erhöhungen, so ist eine visuelle Zustandserfassung zur akustischen Bewertung der Fahrbahndeckschicht durchzuführen.

**Schritt 3 - Durchführung einer visuellen Zustandserfassung:** Die Messstrecke für die Durchführung der visuellen Zustandserfassung hat eine Mindestlänge von 200 m aufzuweisen. Die Erfassung erfolgt dabei im Rahmen einer Begehung. Für die Bewertung des Oberflächenzustandes der Messstrecke in 5 Zustandsklassen sind die beiden Tabellen 7.4 und 7.6 aus Abschnitt 7.5.1.3 dieser Arbeit heranzuziehen.

**Schritt 4 - Durchführung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Messung des Drainverhaltens erfolgt gem. RVS 11.06.61 [77]. Die Messungen der Durchflusszeiten erfolgen dabei an mindestens 3 gewählten Messstellen, die einen Minimalabstand von 20 m zueinander aufzuweisen haben und innerhalb der gewählten Messstrecke liegen müssen.

**Schritt 5 - Auswertung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Auswertung der Messung des Drainverhaltens erfolgt getrennt nach den Messstellen  $MS$  durch eine arithmetische Mittelwertbildung der einzelnen Durchflusszeiten  $t_i$  nach der Formel (7.18).

$$T(5)_{\text{Drain},MS} = \frac{\sum_i t_i}{i}, i \geq 12 \quad (7.18)$$

**Schritt 6 - Bestimmung des LABEL- Wertes  $LABEL5_{\text{Drain}}$  (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Bestimmung des LABEL- Wertes  $LABEL5_{\text{Drain}}$  erfolgt

durch eine arithmetische Mittelwertbildung über alle durchgeführten Messungen an den Messstellen  $MS$  nach der Formel (7.19).

$$LABEL5_{Drain} = T(5)_{Drain,Mittel} = \frac{\sum_n T(5)_{Drain,MS,n}}{n}, n \geq 3 \quad (7.19)$$

**Schritt 7 - Nachweis der Durchflusszeit der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Als repräsentativer Wert der Messung wird der Mittelwert über alle durchgeführten Messungen  $T(5)_{Drain,Mittel}$  herangezogen, der auch den LABEL-Wert  $LABEL5_{Drain}$  darstellt. Ab einer Erhöhung der Durchflusszeit um 10 sec. ist von einer Änderung des Lärmpegels um 2 dB(A) auszugehen und somit auch von einer Änderung der Lärmklasse. Ist der bestimmte Wert  $LABEL5_{Drain}$  um mehr als 10 sec. höher als der  $LABEL5_{Drain}$ -Wert bei der ursprünglichen akustischen Bewertung, kann dieser Nachweis nicht erbracht werden. Somit ist eine neue Messstrecke auszuwählen.

**Schritt 8 - Bestimmung der Lärmklasse:** Der Nachweis der Lärmklasse der akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht erfolgt anhand der visuellen Zustandserfassung. Wurde dabei die Zustandsklasse 1 oder 2 erreicht, so gilt die angegebene Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht als bestätigt (wird bei der visuellen Zustandserfassung für die Messstrecke die Zustandsklasse 3 - "mittelmäßiger Zustand" erreicht, so führt dies auch zu einer Änderung der Lärmklasse). Ist dies nicht der Fall, so ist die Durchführung einer zusätzlichen Rollgeräuschmessung zum Nachweis der Lärmklasse erforderlich (siehe Schritte 8a bis 8e).

*Schritt 8a - Durchführung einer Rollgeräuschmessung als Abnahmemessung:* An der zu überprüfenden Fahrbahndeckschicht ist an einer Messstrecke von mindestens 500 m Länge eine Rollgeräuschmessung gem. ISO/CD 11819-2 [28] nach der Überblicksmethode durchzuführen.

*Schritt 8b - Auswertung der Rollgeräuschmessung für die Messstrecke:* Bei der Auswertung der Rollgeräuschmessung für die Messstrecke wird der energieäquivalente Dauerschallpegel der Messreifen A und D zunächst einer Temperaturkorrektur unterworfen und anschließend in einem CPX-Index  $CPXI(5)_n$  je Auswerteabschnitt  $n = 20 m$  zusammengefasst:

$$CPXI(5)_n = 0,5 \cdot L(5)_{A_n} + 0,5 \cdot L(5)_{D_n} + 0,5 \quad (7.20)$$

*Schritt 8c - Bestimmung des LABEL-Wertes  $LABEL5_{CPX}$  für die Messstrecke:* Die Berechnung des Grundwertes  $LABEL5_{CPX}$  erfolgt aus einer arithmetischen Mittelwertbildung über alle gemessenen Abschnitte nach der Formel (7.21).

$$LABEL5_{CPX} = \frac{\sum_n CPXI(5)_n}{n}, n \geq 25 \quad (7.21)$$

*Schritt 8d - Bestimmung der Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer:* Die Lärmklasse der zu bewertenden Fahrbahndeckschicht wird nach dem ermittelten Grundwert  $LABEL5_{CPX}$  durch einen Vergleich mit den Grundwerten der Referenzfahrbahndeckschicht bestimmt:

$$\Delta x_{CPX(5)} = LABEL5_{CPX,Ref.} - LABEL5_{CPX} \quad (7.22)$$

*Schritt 8e - Bestätigung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht nach einer Liegedauer von 5 Jahren:* Der Nachweis der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht nach einer Liegedauer

von 5 Jahren erfolgt in einem Vergleich der ermittelten Lärmklasse mit der angegebenen Lärmklasse. Ist  $LK_{ermittelt} = LK_{angegeben}$ , kann die angegebene Lärmklasse bestätigt werden. Ist  $LK_{ermittelt} < LK_{angegeben}$ , kann eine neuerliche akustische Bewertung durchgeführt werden, um die bessere Lärmklasse möglicherweise zu bestätigen und somit für die akustische Bewertung heranzuziehen. Ist  $LK_{ermittelt} > LK_{angegeben}$ , kann der Nachweis der Lärmklasse nicht erbracht werden, was bautechnische Maßnahmen nach sich zieht.

Liegt für die zu untersuchende Fahrbahndeckschicht nur eine Abschätzung der Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer vor, so hat die Bestätigung der abgeschätzten Lärmklasse nach dem Ablaufdiagramm in Abbildung 7.10 zu erfolgen.

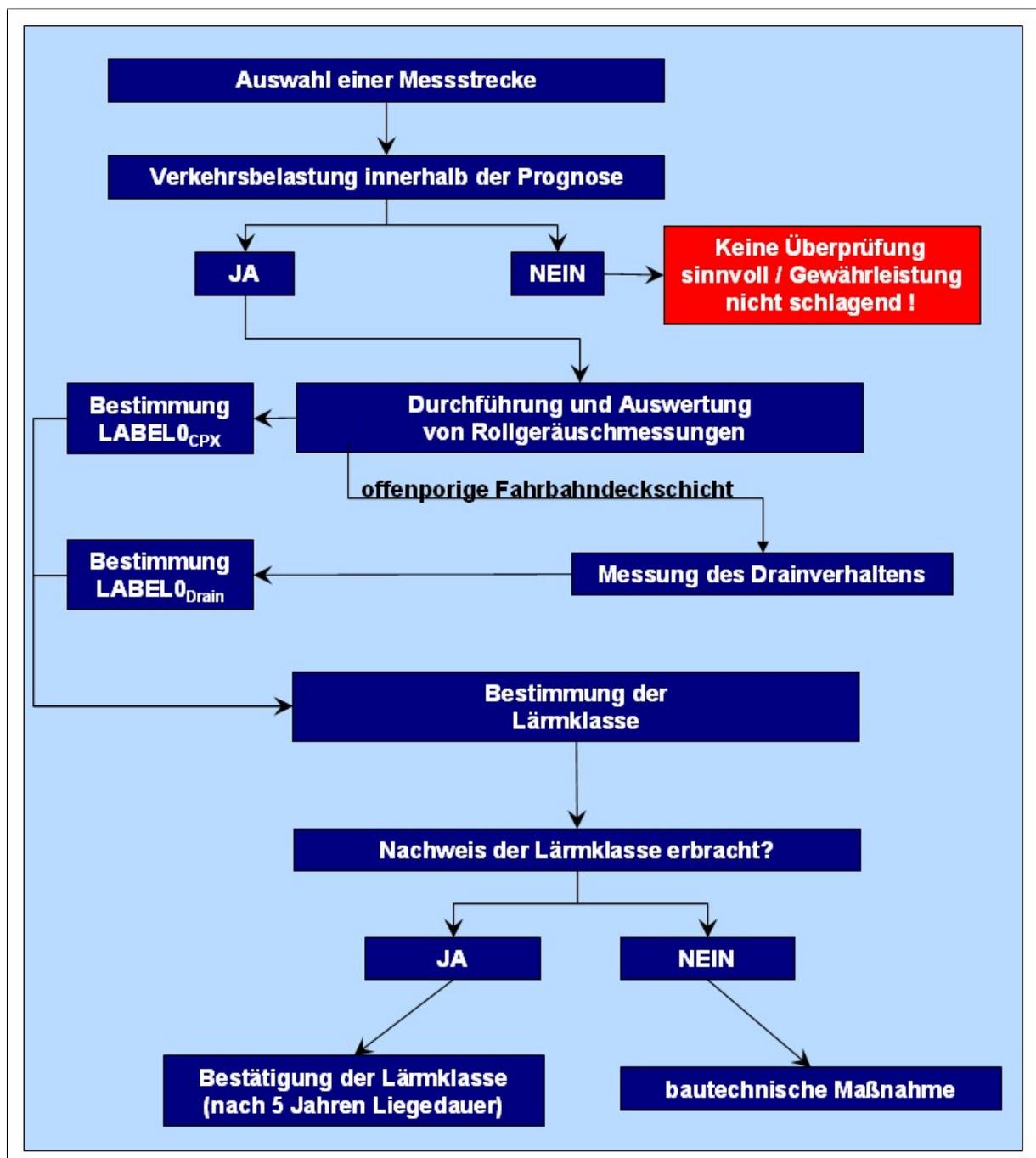


Abbildung 7.10: Ablaufdiagramm für das akustische Monitoring für eine Fahrbahndeckschicht mit einer abgeschätzten Lärmklasse nach einer Liegedauer von 5 Jahren

Im Rahmen des akustischen Monitorings sind folgende Schritte zur Bestätigung der abgeschätzten Lärmklasse einer Fahrbahndeckschicht nach einer Liegedauer von 5 Jahren durchzuführen:

- Auswahl einer Messstrecke (innerhalb des Bauloses)
- Abschätzung der Verkehrsbelastung
- Durchführung und Auswertung von Rollgeräuschmessungen
- Durchführung und Auswertung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten)
- Bestimmung der Lärmklasse
- Bestätigung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht

Die Vorgehensweise zur Bestätigung der abgeschätzten Lärmklasse gliedert sich in insgesamt 10 Arbeitsschritte:

**Schritt 1 - Auswahl einer Messstrecke:** Die Messstrecke ist an einem repräsentativen Straßenabschnitt der bewerteten Straßenkategorie (durchschnittliche Verkehrsbelastung und Geschwindigkeitsniveau) zu wählen.

**Schritt 2 - Abschätzung der Verkehrsbelastung:** An der Messstrecke ist eine Abschätzung der Verkehrsbelastung durchzuführen. Liegt diese Verkehrsbelastung nicht innerhalb des bei der Neuanlage der Fahrbahndeckschicht angesetzten Prognoseverkehrs, so ist eine akustische Bewertung der Fahrbahndeckschicht nicht sinnvoll und sollte auch nicht durchgeführt werden. Sie ist auch nicht notwendig, da in diesem Fall auch die Gewährleistungspflicht des Auftragnehmers hinfällig wird. Zeigt die Verkehrsbelastung keine signifikanten Erhöhungen, so sind Rollgeräuschmessungen zur akustischen Bewertung der Fahrbahndeckschicht durchzuführen.

**Schritt 3 - Durchführung von Rollgeräuschmessungen für die Messstrecke:** An der Messstrecke sind an einem 100 m-Abschnitt mindestens 2 vollständige Rollgeräuschmessungen gem. ISO/CD 11819-2 [28] nach der Überblicksmethode durchzuführen.

**Schritt 4 - Auswertung der Rollgeräuschmessungen für die Messstrecke:** Bei der Auswertung der Rollgeräuschmessungen für die Messstrecke wird der energieäquivalente Dauerschallpegel der Messreifen A und D zunächst einer Temperaturkorrektur unterworfen und anschließend in einem CPX-Index  $CPXI(5)_n$  je Auswerteabschnitt  $n = 20 m$  zusammengefasst:

$$CPXI(5)_n = 0,5 \cdot L(5)_{A_n} + 0,5 \cdot L(5)_{D_n} + 0,5 \quad (7.23)$$

**Schritt 5 - Bestimmung des LABEL-Wertes  $LABEL5_{CPX}$  für die Messstrecke:** Die Berechnung des Grundwertes zur akustischen Klassifizierung  $LABEL5_{CPX}$  erfolgt aus einer arithmetischen Mittelwertbildung über alle gemessenen Abschnitte nach der Formel:

$$LABEL5_{CPX} = \frac{\sum_n CPXI(5)_n}{n}, n \geq 10 \quad (7.24)$$

**Schritt 6 - Durchführung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Messung des Drainverhaltens erfolgt gem. RVS 11.06.61

[77]. Die Messungen der Durchflusszeiten erfolgen dabei an mindestens 3 gewählten Messstellen, die einen Minimalabstand von 20 m zueinander aufzuweisen haben und innerhalb der gewählten Messstrecke liegen.

**Schritt 7 - Auswertung der Messung des Drainverhaltens (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Auswertung der Messung des Drainverhaltens erfolgt getrennt nach den Messstellen  $MS$  durch eine arithmetische Mittelwertbildung der einzelnen Durchflusszeiten  $t_i$  nach der Formel:

$$T(5)_{\text{Drain},MS} = \frac{\sum_i t_i}{i}, i \geq 12 \quad (7.25)$$

**Schritt 8 - Bestimmung des LABEL-Wertes  $LABEL5_{\text{Drain}}$  (nur für offenporige Fahrbahndeckschichten):** Die Bestimmung des LABEL-Wertes  $LABEL5_{\text{Drain}}$  erfolgt durch eine arithmetische Mittelwertbildung über alle durchgeführten Messungen an den Messstellen  $MS$  nach der Formel:

$$LABEL5_{\text{Drain}} = T(5)_{\text{Drain},\text{Mittel}} = \frac{\sum_n T(5)_{\text{Drain},MS,n}}{n}, n \geq 3 \quad (7.26)$$

**Schritt 9 - Bestimmung der Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer:** Die Lärmklasse der zu bewertenden Fahrbahndeckschicht wird nach dem ermittelten Grundwert  $LABEL5_{CPX}$  durch einen Vergleich mit den Grundwerten der Referenzfahrbahndeckschicht bestimmt:

$$\Delta x_{CPX(5)} = LABEL5_{CPX,Ref.} - LABEL5_{CPX} \quad (7.27)$$

**Schritt 10 - Bestätigung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht nach einer Liegedauer von 5 Jahren:** Die Bestätigung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht nach einer Liegedauer von 5 Jahren erfolgt in einem Vergleich der ermittelten Lärmklasse mit der abgeschätzten Lärmklasse. Ist  $LK_{\text{ermittelt}} = LK_{\text{abgeschätzt}}$ , kann die abgeschätzte Lärmklasse bestätigt werden. Ist  $LK_{\text{ermittelt}} < LK_{\text{abgeschätzt}}$ , wird die ermittelte Lärmklasse für die akustische Bewertung herangezogen. Ist  $LK_{\text{ermittelt}} > LK_{\text{abgeschätzt}}$ , kann der Nachweis der Lärmklasse nicht erbracht werden, was bautechnische Maßnahmen nach sich zieht.

## 7.6 Formular der akustischen Bewertung von lärm-mindernden Fahrbahndeckschichten

Für die Dokumentation des Ergebnisses der akustischen Bewertung einer lärm-mindernden Fahrbahndeckschicht wurde ein 3-seitiges Formular entwickelt. Dieses Formular ist vom Deckschichthersteller auszufüllen und zu unterfertigen. Mögliche Revisionen der akustischen Bewertung, wie zum Beispiel die Ergänzung einer Lärmklasse für das Lärmverhalten der Fahrbahndeckschicht nach 5 oder 10 Jahren, sind dem Bewertungsformular mit Datum der Ergänzung und Unterschrift in roter Farbe hinzuzufügen. Ebenso ist speziell anzuführen, ob es sich bei den angegebenen LABEL-Werten  $LABEL5_{CPX}$  und  $LABEL10_{CPX}$  um

Abschätzungen handelt, oder ob diese durch Messungen im Rahmen der akustischen Bewertung bestätigt sind. Handelt es sich um Abschätzungen, so sind die Grundlagen dieser Abschätzungen anzuführen.

Im akustischen Bewertungsformular sind folgende Eintragungen zu protokollieren:

- Angaben zur Herstellerfirma
- Angabe des zu bewertenden Fahrbahndeckschichttyps bzw. Angabe der Produktbezeichnung
- generelle Informationen zur Fahrbahndeckschicht
- Angaben zur Erstprüfung
- Beschreibung der Messstrecke
- Auswertung der Lärmessungen
- Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht im Neuzustand (nach Deckschichtlegung)
- Angaben zum Alterungsverhalten der Fahrbahndeckschicht

In den Abbildungen 7.11, 7.12 und 7.13 ist das 3-seitige Formular zur akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten dargestellt.

<b>AKUSTISCHE BEWERTUNG VON LÄRMMINDERNDEN FAHRBAHNDECKSCHICHTEN</b>	
<b>ANGABEN ZUR HERSTELLERFIRMA</b>	
Firmenanschrift:	
<b>GENERELLE INFORMATIONEN ZUR FAHRBAHNDECKSCHICHT</b>	
<b>Deckschichttyp (Produktbezeichnung):</b>	
<input type="checkbox"/> Mischgutzusammensetzung gem. ÖNORM ..... <input type="checkbox"/> Sonderbauweise	
Bitumensorte: .....	
verwendete Zusätze:	<input type="checkbox"/> ..... <input type="checkbox"/> keine
Bindemittelgehalt: .....	[M.-%]    Größtkorn: ..... [mm]
Hohlraumgehalt Mischgut (MK): .....	[Vol.-%]
Hohlraumgehalt Schicht: .....	[Vol.-%]
Durchflusszeit: .....	[sec.]
<i>Sieblinie:</i>	
<b>zugehörige Erstprüfung:</b>	
Nummer: .....	
Labor: .....	
<b>SEITE 1/8</b>	

**Abbildung 7.11:** Formular der akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten (1/3)

**AKUSTISCHE BEWERTUNG VON LÄRMMINDERNDEN  
FAHRBAHNDECKSCHICHTEN**

**BESCHREIBUNG DER MESSSTRECKE**

Ort der Messstrecke:       im Straßennetz                       an einer Versuchsstrecke  
 Straßenbezeichnung: ..... von km: .....  
 Straßentyp: ..... bis km: .....  
 Länge der Messstrecke: ..... [m]  
 Messpunkt der SPB- Messung (Abstand vom Beginn der Teststrecke): ..... [m]

**AUSWERTUNG DER LÄRMMESSUNGEN**

**Rollgeräuschmessungen gem. ISO/CD 11819-2 (Überblicksmethode)**  
 Datum: ..... ausführende Firma: .....  
 Messbericht Nr.: ..... Oberflächentemperatur: ..... [°C]

**Auswertung CPXI (in [dB(A)])**

**1. Messserie**

Messgeschwindigkeit	100 km/h	70 km/h	50 km/h
<b>CPX-Index [dB(A)]</b>			

**2. Messserie**

Messgeschwindigkeit	100 km/h	70 km/h	50 km/h
<b>CPX-Index [dB(A)]</b>			

**Vorbeifahrtmessung gem. ISO 11819-1**  
 Datum: ..... ausführende Firma: .....  
 Messbericht Nr.: ..... Oberflächentemperatur: ..... [°C]

**Auswertung SPBI (in [dB(A)])**

**1. Messserie**

Fahrzeugkategorie:	Pkw	zweiachs-Lkw	mehrachsig Lkw
$L_{SPB,A+S}$			
$L_{SPB,sonstigeFreilandstraße}$			
$L_{SPB,Stadtstraße}$			
Straßenkategorie:	A+S	sonst. Freilandstraße	Stadtstraße
<b>SPBI [dB(A)]</b>			

**2. Messserie**

Fahrzeugkategorie:	Pkw	zweiachs-Lkw	mehrachsig Lkw
$L_{SPB,A+S}$			
$L_{SPB,sonstigeFreilandstraße}$			
$L_{SPB,Stadtstraße}$			
Straßenkategorie:	A+S	sonst. Freilandstraße	Stadtstraße
<b>SPBI [dB(A)]</b>			

SEITE 28

**Abbildung 7.12:** Formular der akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten (2/3)

## AKUSTISCHE BEWERTUNG VON LÄRMMINDERNDEN FAHRBAHNDECKSCHICHTEN

### KLASSIFIZIERUNG DER FAHRBAHNDECKSCHICHT

LABEL-Werte	Lärmklasse	Straßenkategorie
LABEL <sub>CPX100</sub> ..... [dB(A)]		A+S
LABEL <sub>CPX70</sub> ..... [dB(A)]		sonstige Freilandstraße
LABEL <sub>CPX50</sub> ..... [dB(A)]		Stadtstraße
LABEL <sub>SPB,A+S</sub> ..... [dB(A)]		A+S
LABEL <sub>SPB,sonstigeFreilands</sub> ..... [dB(A)]		sonstige Freilandstraße
LABEL <sub>SPB,Stadtstraße</sub> ..... [dB(A)]		Stadtstraße

*Bestimmung der Lärmklasse:  $LK = \text{Max}\{LK_{CPX}, LK_{SPB}\}$*

<b>LK = .....</b>	<b>Straßenkategorie: .....</b>
<b>LK = .....</b>	<b>Straßenkategorie: .....</b>
<b>LK = .....</b>	<b>Straßenkategorie: .....</b>

### ANGABEN ZUM ALTERUNGSVERHALTEN DER FAHRBAHNDECKSCHICHT

prognostizierte strukturelle Lebensdauer: ..... [Jahre]  
 prognostizierte akustische Lebensdauer: ..... [Jahre]  
 Grundlage der Abschätzung:

LABEL-Werte		akust. Bewertung erfolgt:	Lärmklasse
<b>nach 5 Jahren Liegedauer</b>			
LABEL <sub>5</sub> <sub>CPX100</sub> ..... [dB(A)]		<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>	
LABEL <sub>5</sub> <sub>CPX70</sub> ..... [dB(A)]		<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>	
LABEL <sub>5</sub> <sub>CPX50</sub> ..... [dB(A)]		<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>	
<b>nach 10 Jahren Liegedauer</b>			
LABEL <sub>10</sub> <sub>CPX100</sub> ..... [dB(A)]		<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>	
LABEL <sub>10</sub> <sub>CPX70</sub> ..... [dB(A)]		<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>	
LABEL <sub>10</sub> <sub>CPX50</sub> ..... [dB(A)]		<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>	

Der Unterfertigte bestätigt mit seiner Unterschrift die Richtigkeit der vorstehenden Angaben (alle Dokumente auf Verlangen vorlegbar).

Datum: .....  
 Name: .....  
 Unterschrift: .....

SEITE 3/8

**Abbildung 7.13:** Formular der akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten (3/3)

## 8. KAPITEL

# AKUSTISCHE BEWERTUNG DER GÄNGIGEN ÖSTERREICHISCHEN FAHRBAHNDECKSCHICHTTYPEN

## 8.1 Betrachtete Fahrbahndeckschichttypen

Lärmindernde Fahrbahndeckschichten werden auf den österreichischen Straßen immer häufiger eingesetzt. Im hochrangigen Straßennetz (Autobahnen und Schnellstraßen) gelten immerhin mehr als 35% der angewandten Fahrbahndeckschichten als lärmmindernd (siehe auch Abschnitt 5.2.3 dieser Arbeit). In Abbildung 8.1 ist eine Verteilung der heutzutage im österreichischen hochrangigen Straßennetz angewandten Fahrbahndeckschichttypen dargestellt (Streckenlänge ca. 4.260 km). Für die Fahrbahndeckschichttypen lärmmindernder Splittmastixasphalt und Waschbeton handelt es sich allerdings um Abschätzungen, da eine eindeutige Zuordnung des lärmmindernden Fahrbahndeckschichttyps im Vergleich zur herkömmlichen Bauweise nicht immer möglich war.

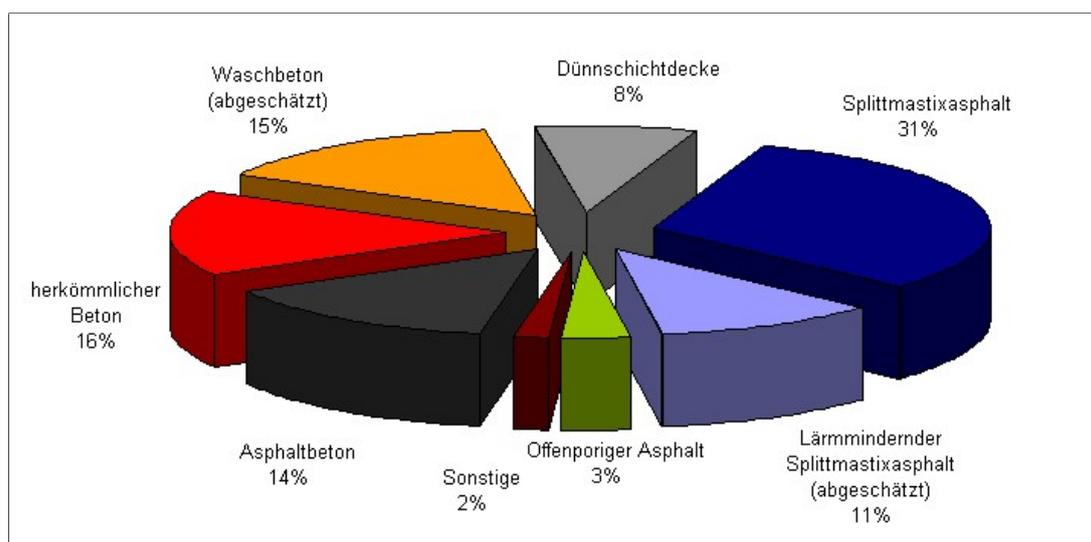


Abbildung 8.1: Abgeschätzte Deckschichtstatistik im ASFINAG-Straßennetz (Stand: 2009)

Für die in Österreich am häufigsten angewandten lärmmindernden Fahrbahndeckschichttypen

- offenporiger Asphalt,
- lärmmindernder Splittmastixasphalt,
- lärmmindernde Dünnschichtdecke und

- Waschbeton

soll in den folgenden Abschnitten eine akustische Bewertung durchgeführt werden. Ergänzt werden die Analysen durch eine zusätzliche Betrachtung des Fahrbahndeckschichttyps Asphaltbeton.

## 8.2 Beispiele einer akustischen Bewertung von lärm-mindernden Fahrbahndeckschichten

### 8.2.1 Allgemeines

Die akustische Bewertung der in Österreich am häufigsten angewandten lärm-mindernden Fahrbahndeckschichttypen erfolgt für einen Mix von Fahrbahndeckschichten desselben Fahrbahndeckschichttyps <sup>(a)</sup> und nicht für eine bestimmte Fahrbahndeckschicht. Die für diese akustische Bewertung verwendeten Lärm-messwerte stammen aus einer Vielzahl von Messergebnissen an Fahrbahndeckschichten desselben Fahrbahndeckschichttyps. Durch eine Mittelwertbildung dieser vorhandenen Daten (getrennt nach Rollgeräuschmessungen und Vorbeifahrtmessungen) werden schließlich diejenigen Werte je Fahrbahndeckschichttyp ermittelt, die dann als Grundlage zur akustischen Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps in die Bewertung eingehen. Diese Mittelwertbildung ist allerdings nur für jene Fahrbahndeckschichten desselben Schichttyps erlaubt, die den Anforderungen, die in Abschnitt 5 dieser Arbeit beschrieben sind, genügen.

Die im Folgenden aufgezeigten Lärm-messwerte, die als Grundlage zur akustischen Bewertung der Fahrbahndeckschicht dienen, stammen somit von einer “fiktiven Fahrbahndeckschicht“, die sich aus einer Vielzahl von Fahrbahndeckschichten desselben Fahrbahndeckschichttyps zusammensetzt.

Die bestimmten Lärmklassen stellen einen Überblick über “Mittelwerte“ von Lärmklassen der in Österreich üblicherweise angewandten Fahrbahndeckschichttypen dar. Diese könnten auch als Grundlage für eine Abschätzung des akustischen Alterungsverhaltens herangezogen werden. Allerdings ist es nicht möglich, diese Mittelwerte für ein möglicherweise verkürztes Verfahren zur Bestimmung der Lärmklassen zu verwenden.

Folgende Fahrbahndeckschichttypen werden zur akustischen Bewertung herangezogen:

- Asphaltbeton (AC 11 deck, A2)
- offenerporiger Asphalt (PA 11, P2 und DLPA 8/16, P2)
- lärm-mindernder Splittmastixasphalt (SMA 8, S3 und SMA 11, S3)
- lärm-mindernde Dünnschichtdecke (BBTM 8B)
- Waschbeton (EACC GK 11)

Für jeden dieser Fahrbahndeckschichttypen wird eine akustische Bewertung für die Straßenkategorie “A+S“ durchgeführt. Demzufolge sind der Analyse Rollgeräuschmessungen mit

---

<sup>a</sup>Anmerkung: Da es nicht Aufgabe dieser Arbeit ist, eine Wertung für eine spezielle Fahrbahndeckschicht abzugeben, wird die akustische Bewertung auch nicht für ein spezielles Produkt durchgeführt.

einer Messgeschwindigkeit von 100 km/h bzw. Vorbeifahrtmessungen mit einer Referenzgeschwindigkeit von 110 km/h für die Fahrzeugkategorie “Pkw“ und 85 km/h für die beiden Fahrzeugkategorien “zweiachsige Lkw“ und “mehrachsige Lkw“ zugrunde gelegt. Die Datengrundlage dieser Lärmmessdaten stammt aus einer Datenbank österreichischer Lärmmessungen [29]. Als Referenzfahrbahndeckschicht der akustischen Bewertung wird ein Splittmastixasphalt SMA 11, S2 herangezogen, der für die Straßenkategorie “A+S“ folgende, in Abschnitt 7.2.1 dieser Arbeit bestimmte, Referenzwerte aufweist:

$LABEL0_{SPB,A+S}$	.....	84,4 dB(A)
$LABEL0_{CPX100}$	.....	100,7 dB(A)
$LABEL5_{CPX100}$	.....	102,5 dB(A)
$LABEL10_{CPX100}$	.....	104,4 dB(A)

Die akustische Bewertung der lärmindernden Fahrbahndeckschichten erfolgt nach dem entwickelten Bewertungsschema in 2 Schritten:

- akustische Klassifizierung (Betrachtung des Neuzustandes)
- Betrachtung des akustischen Langzeitverhaltens

Für die akustische Klassifizierung der untersuchten Fahrbahndeckschichttypen werden Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen und Vorbeifahrtmessungen von Deckschichten mit einem maximalen Alter von 6 Monaten ausgewertet. Zur Bewertung des akustischen Langzeitverhaltens werden Messergebnisse aus Rollgeräuschmessungen von Deckschichten mit einem Alter von 5 bzw. von 10 Jahren herangezogen.

### 8.2.2 Akustische Bewertung der Fahrbahndeckschicht Asphaltbeton

Zur akustischen Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps Asphaltbeton werden Messergebnisse des Typs “AC 11 deck, A2“ herangezogen (Daten aus [29]).

#### *Akustische Klassifizierung des AC 11 deck, A2*

Die für die akustische Klassifizierung relevanten Messwerte an neuen Fahrbahndeckschichten  $SPBI_{Mittel}$  und  $CPXI_{Mittel}$  wurden in Abschnitt 5.4.5 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildungen 5.17 und 5.18). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL0_{SPB,A+S} = SPBI_{Mittel} = 84,3 \text{ dB}(A)$
- $LABEL0_{CPX100} = CPXI_{Mittel} = 98,6 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt zuerst getrennt nach den beiden Messmethoden (Rollgeräuschmessung und Vorbeifahrtmessung) durch einen Vergleich der Grundwerte mit denen der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2:

- $\Delta x_{SPB,A+S} = LABEL0_{SPB,A+S,Ref.} - LABEL0_{SPB,A+S} = 0,1 \text{ dB}(A)$

$$- \Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX100,Ref.} - LABEL0_{CPX100} = 2,1 \text{ dB}(A)$$

Aus diesen Differenzwerten erfolgt die akustische Bewertung der Fahrbahndeckschicht für den Neuzustand durch Einteilung in die beiden Lärmklassen  $LK_{SPB,A+S}$  aus Vorbeifahrtmessungen und  $LK_{CPX100}$  aus Rollgeräuschmessungen:

$$\begin{aligned} - \Delta x_{SPB,A+S} &= 0,1 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK_{SPB,A+S} = LK 4 \\ - \Delta x_{CPX100} &= 2,1 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK_{CPX100} = LK 3 \end{aligned}$$

Die repräsentative Lärmklasse des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2 im Neuzustand wird durch eine Maximalwertbildung aus den beiden Lärmklassen  $LK_{SPB,A+S}$  und  $LK_{CPX100}$  bestimmt.

Daraus folgt für den Fahrbahndeckschichttyp AC 11 deck, A2 die Lärmklasse **LK 4** im **Neuzustand**.

#### *Bewertung des akustischen Langzeitverhaltens des AC 11 deck, A2*

Die für die akustische Bewertung relevanten Messwerte  $CPXI_{Mittel}$  nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschichten wurden in Abschnitt 5.7 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildung 5.52). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

$$\begin{aligned} - LABEL5_{CPX100} &= CPXI5_{Mittel} = 101,5 \text{ dB}(A) \\ - LABEL10_{CPX100} &= CPXI10_{Mittel} = 102,8 \text{ dB}(A) \end{aligned}$$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt wie bei der Analyse des Neuzustandes der Fahrbahndeckschicht durch einen Vergleich der Grundwerte mit denen der Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2:

$$\begin{aligned} - \Delta x_{CPX100,5} &= LABEL5_{CPX100,Ref.} - LABEL5_{CPX100} = 1,0 \text{ dB}(A) \\ - \Delta x_{CPX100,10} &= LABEL10_{CPX100,Ref.} - LABEL10_{CPX100} = 1,6 \text{ dB}(A) \end{aligned}$$

Aus diesen Differenzwerten erfolgt die akustische Bewertung der Fahrbahndeckschicht nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer nach den repräsentativen Lärmklassen  $LK_{CPX100,5}$  und  $LK_{CPX100,10}$  des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2:

$$\begin{aligned} - \text{nach 5 Jahren Liegedauer: } \Delta x_{CPX100,5} &= 1,0 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK_{CPX100,5} = LK 4 \\ - \text{nach 10 Jahren Liegedauer: } \Delta x_{CPX100,10} &= 1,6 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK_{CPX100,10} = LK 3 \end{aligned}$$

Der Fahrbahndeckschichttyp AC 11 deck, A2 weist somit nach **5 Jahren** Liegedauer die Lärmklasse **LK 4** auf, nach einer Liegedauer von **10 Jahren** die Lärmklasse **LK 3**.

### Zusammenfassende akustische Bewertung des AC 11 deck, A2

Zusammenfassend ist die akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2 in Abbildung 8.2 dargestellt.

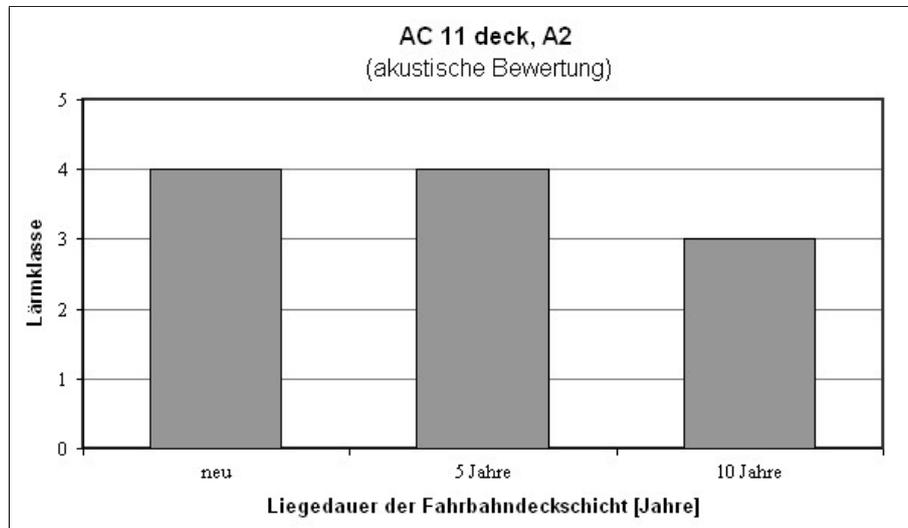


Abbildung 8.2: Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2

Die untersuchten Asphaltbetondeckschichten des Typs AC 11 deck, A2 weisen in den ersten Liegejahren die Lärmklasse LK 4 auf. Allerdings erhöht sich ihr Lärminderungspotenzial im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 nach 10 Jahren Liegedauer, was sich in einer besseren Lärmklasse niederschlägt (LK 3).

## 8.2.3 Akustische Bewertung von lärmmindernden Fahrbahndeckschichten

### 8.2.3.1 Offenporiger Asphalt

Zur akustischen Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps offenporiger Asphalt werden Messergebnisse der Typen “PA 11, P2“ (einlagige Bauweise) und “DLPA 8/16, P2“ (zweilagige Bauweise) herangezogen (Daten aus [29]).

#### Akustische Klassifizierung des PA 11, P2

Die für die akustische Klassifizierung relevanten Messwerte an neuen Fahrbahndeckschichten  $SPBI_{Mittel}$  und  $CPXI_{Mittel}$  wurden in Abschnitt 5.5.1.6 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildungen 5.28 und 5.30). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps PA 11, P2 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL0_{SPB,A+S} = SPBI_{Mittel} = 80,6 \text{ dB}(A)$
- $LABEL0_{CPX100} = CPXI_{Mittel} = 98,5 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

$$- \Delta x_{SPB,A+S} = LABEL0_{SPB,A+S,Ref.} - LABEL0_{SPB,A+S} = 3,8 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 2$$

$$- \Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX100,Ref.} - LABEL0_{CPX100} = 2,2 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$$

Durch eine Maximalwertbildung aus den beiden Lärmklassen  $LK_{SPB,A+S}$  und  $LK_{CPX100}$  folgt für den Fahrbahndeckschichttyp PA 11, P2 die Lärmklasse **LK 3** im **Neuzustand**.

#### *Bewertung des akustischen Langzeitverhaltens des PA 11, P2*

Die für die akustische Bewertung relevanten Messwerte  $CPXI_{Mittel}$  nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschichten wurden in Abschnitt 5.7 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildung 5.52). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps PA 11, P2 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

$$- LABEL5_{CPX100} = CPXI5_{Mittel} = 101,2 \text{ dB}(A)$$

$$- LABEL10_{CPX100} = CPXI10_{Mittel} = 103,9 \text{ dB}(A)$$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

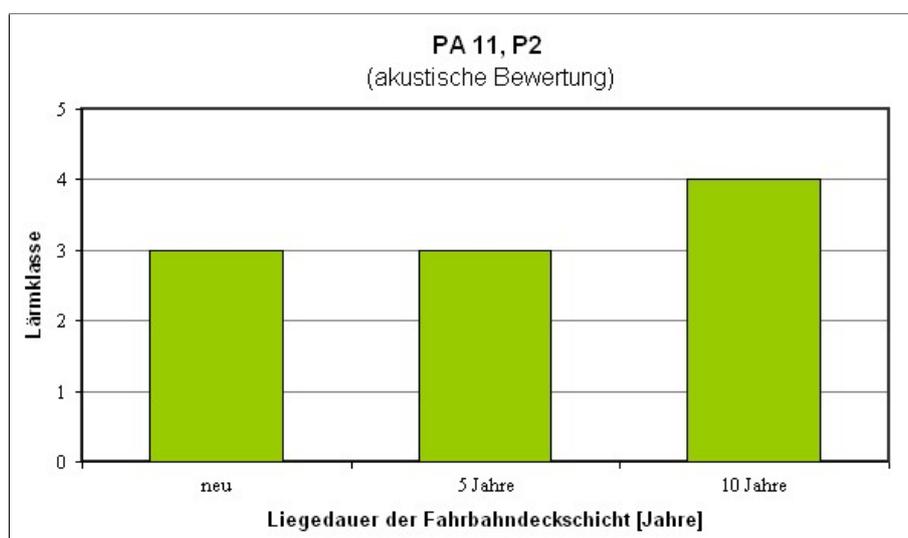
$$- \Delta x_{CPX100,5} = LABEL5_{CPX100,Ref.} - LABEL5_{CPX100} = 1,3 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$$

$$- \Delta x_{CPX100,10} = LABEL10_{CPX100,Ref.} - LABEL10_{CPX100} = 0,5 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 4$$

Der Fahrbahndeckschichttyp PA 11, P2 weist somit nach **5 Jahren** Liegedauer die Lärmklasse **LK 3** auf, nach einer Liegedauer von **10 Jahren** die Lärmklasse **LK 4**.

#### *Zusammenfassende akustische Bewertung des PA 11, P2*

Zusammenfassend ist die akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps PA 11, P2 in Abbildung 8.3 dargestellt.



**Abbildung 8.3:** Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps PA 11, P2

Die untersuchten einlagigen offenporigen Asphaltdeckschichten des Typs PA 11, P2 weisen in den ersten Liegejahren die Lärmklasse LK 3 auf. Im Laufe der Zeit verschlechtert sich

allerdings ihr Lärminderungspotenzial im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2, so dass dem PA 11, P2 nach 10 Jahren Liegedauer nur mehr die Lärmklasse LK 4 zugeordnet werden kann. Dieser Fahrbahndeckschichttyp zeigt somit ein schlechteres akustisches Langzeitverhalten als der zuvor analysierte Asphaltbeton AC 11 deck, A2, der nach 10 Jahren Liegedauer die Lärmklasse LK 3 aufweist.

#### *Akustische Klassifizierung des DLPA 8/16, P2*

Die für die akustische Klassifizierung relevanten Messwerte an neuen Fahrbahndeckschichten  $SPBI_{Mittel}$  und  $CPXI_{Mittel}$  wurden in Abschnitt 5.5.1.6 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildungen 5.29 und 5.31). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps DLPA 8/16, P2 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL0_{SPB,A+S} = SPBI_{Mittel} = 78,2 \text{ dB}(A)$
- $LABEL0_{CPX100} = CPXI_{Mittel} = 94,8 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

- $\Delta x_{SPB,A+S} = LABEL0_{SPB,A+S,Ref.} - LABEL0_{SPB,A+S} = 6,2 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 1$
- $\Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX100,Ref.} - LABEL0_{CPX100} = 5,9 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 1$

Durch eine Maximalwertbildung aus den beiden Lärmklassen  $LK_{SPB,A+S}$  und  $LK_{CPX100}$  folgt für den Fahrbahndeckschichttyp DLPA 8/16, P2 die Lärmklasse **LK 1** im **Neuzustand**.

#### *Bewertung des akustischen Langzeitverhaltens des DLPA 8/16, P2*

Die für die akustische Bewertung relevanten Messwerte  $CPXI_{Mittel}$  nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschichten wurden in Abschnitt 5.7 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildung 5.52). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps DLPA 8/16, P2 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL5_{CPX100} = CPXI5_{Mittel} = 97,7 \text{ dB}(A)$
- $LABEL10_{CPX100} = CPXI10_{Mittel} = 99,5 \text{ dB}(A)$

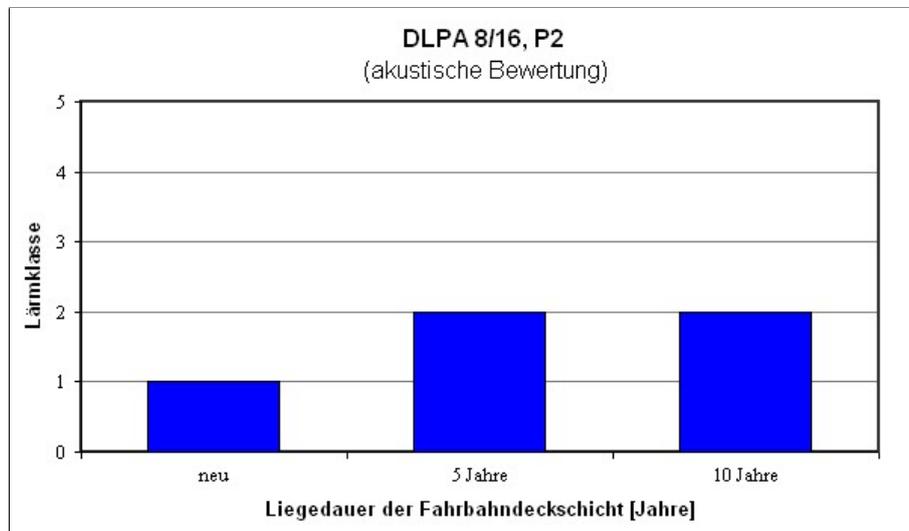
Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

- $\Delta x_{CPX100,5} = LABEL5_{CPX100,Ref.} - LABEL5_{CPX100} = 4,8 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 2$
- $\Delta x_{CPX100,10} = LABEL10_{CPX100,Ref.} - LABEL10_{CPX100} = 4,9 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 2$

Der Fahrbahndeckschichttyp DLPA 8/16, P2 weist somit sowohl nach **5 Jahren** als auch nach **10 Jahren** Liegedauer die Lärmklasse **LK 2** auf.

### Zusammenfassende akustische Bewertung des DLPA 8/16, P2

Zusammenfassend ist die akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps DLPA 8/16, P2 in Abbildung 8.4 dargestellt.



**Abbildung 8.4:** Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps DLPA 8/16, P2

Die untersuchten zweilagigen offenporigen Asphaltdeckschichten des Typs DLPA 8/16, P2 weisen in allen betrachteten Zeitperioden die Lärmklassen “stark lärm mindernd“ (LK 2) bzw. “sehr stark lärm mindernd“ (LK 1) auf und gehören somit eindeutig zu dem leisesten untersuchten Fahrbahndeckschichttyp. Ebenso ist über die Liegedauer der Fahrbahndeckschicht von 10 Jahren kein nennenswerter Abfall im Lärminderungspotenzial im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 zu erkennen.

#### 8.2.3.2 Lärm mindernder Splittmastixasphalt

Zur akustischen Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps lärm mindernder Splittmastixasphalt werden Messergebnisse der Typen “SMA 8, S3“ und “SMA 11, S3“ herangezogen (Daten aus [29]).

##### Akustische Klassifizierung des SMA 8, S3

Die für die akustische Klassifizierung relevanten Messwerte an neuen Fahrbahndeckschichten  $SPBI_{Mittel}$  und  $CPXI_{Mittel}$  wurden in Abschnitt 5.5.2.5 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildungen 5.35 und 5.37). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps SMA 8, S3 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL0_{SPB,A+S} = SPBI_{Mittel} = 81,3 \text{ dB}(A)$
- $LABEL0_{CPX100} = CPXI_{Mittel} = 95,5 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

$$- \Delta x_{SPB,A+S} = LABEL0_{SPB,A+S,Ref.} - LABEL0_{SPB,A+S} = 3,1 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 2$$

$$- \Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX100,Ref.} - LABEL0_{CPX100} = 5,2 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 1$$

Durch eine Maximalwertbildung aus den beiden Lärmklassen  $LK_{SPB,A+S}$  und  $LK_{CPX100}$  folgt für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3 die Lärmklasse **LK 2** im **Neuzustand**.

#### *Bewertung des akustischen Langzeitverhaltens des SMA 8, S3*

Die für die akustische Bewertung relevanten Messwerte  $CPXI_{Mittel}$  nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschichten wurden in Abschnitt 5.7 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildung 5.52). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps SMA 8, S3 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

$$- LABEL5_{CPX100} = CPXI5_{Mittel} = 100,8 \text{ dB}(A)$$

$$- LABEL10_{CPX100} = CPXI10_{Mittel} = 101,9 \text{ dB}(A)$$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

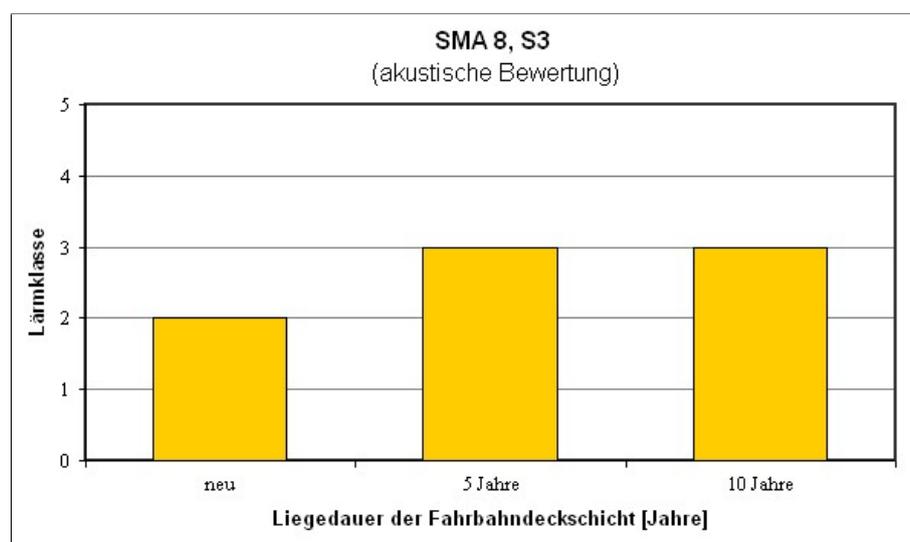
$$- \Delta x_{CPX100,5} = LABEL5_{CPX100,Ref.} - LABEL5_{CPX100} = 1,7 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$$

$$- \Delta x_{CPX100,10} = LABEL10_{CPX100,Ref.} - LABEL10_{CPX100} = 2,5 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$$

Der Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3 weist somit sowohl nach **5 Jahren** als auch nach **10 Jahren** Liegedauer die Lärmklasse **LK 3** auf.

#### *Zusammenfassende akustische Bewertung des SMA 8, S3*

Zusammenfassend ist die akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps SMA 8, S3 in Abbildung 8.5 dargestellt.



**Abbildung 8.5:** Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps SMA 8, S3

Die untersuchten lärm mindernden Splittmastixasphalte des Typs SMA 8, S3 weisen über die Liegedauer der Fahrbahndeckschicht von 10 Jahren eine Verschlechterung der Lärmklasse

von LK 2 auf LK 3 auf und liegen somit im Mittelfeld aller untersuchten Fahrbahndeckschichttypen. Im Neuzustand ist der SMA 8, S3 allerdings zu den leisesten Fahrbahndeckschichttypen zu zählen.

#### *Akustische Klassifizierung des SMA 11, S3*

Die für die akustische Klassifizierung relevanten Messwerte an neuen Fahrbahndeckschichten  $SPBI_{Mittel}$  und  $CPXI_{Mittel}$  wurden in Abschnitt 5.5.2.5 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildungen 5.36 und 5.38). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S3 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL0_{SPB,A+S} = SPBI_{Mittel} = 81,8 \text{ dB}(A)$
- $LABEL0_{CPX100} = CPXI_{Mittel} = 99,2 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

- $\Delta x_{SPB,A+S} = LABEL0_{SPB,A+S,Ref.} - LABEL0_{SPB,A+S} = 2,6 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$
- $\Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX100,Ref.} - LABEL0_{CPX100} = 1,5 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$

Durch eine Maximalwertbildung aus den beiden Lärmklassen  $LK_{SPB,A+S}$  und  $LK_{CPX100}$  folgt für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S3 die Lärmklasse **LK 3** im **Neuzustand**.

#### *Bewertung des akustischen Langzeitverhaltens des SMA 11, S3*

Die für die akustische Bewertung relevanten Messwerte  $CPXI_{Mittel}$  nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschichten wurden in Abschnitt 5.7 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildung 5.52). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S3 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL5_{CPX100} = CPXI5_{Mittel} = 102,1 \text{ dB}(A)$
- $LABEL10_{CPX100} = CPXI10_{Mittel} = 103,5 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

- $\Delta x_{CPX100,5} = LABEL5_{CPX100,Ref.} - LABEL5_{CPX100} = 0,4 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 4$
- $\Delta x_{CPX100,10} = LABEL10_{CPX100,Ref.} - LABEL10_{CPX100} = 0,9 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 4$

Der Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S3 weist somit sowohl nach **5 Jahren** als auch nach **10 Jahren** Liegedauer die Lärmklasse **LK 4** auf.

### Zusammenfassende akustische Bewertung des SMA 11, S3

Zusammenfassend ist die akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S3 in Abbildung 8.6 dargestellt.

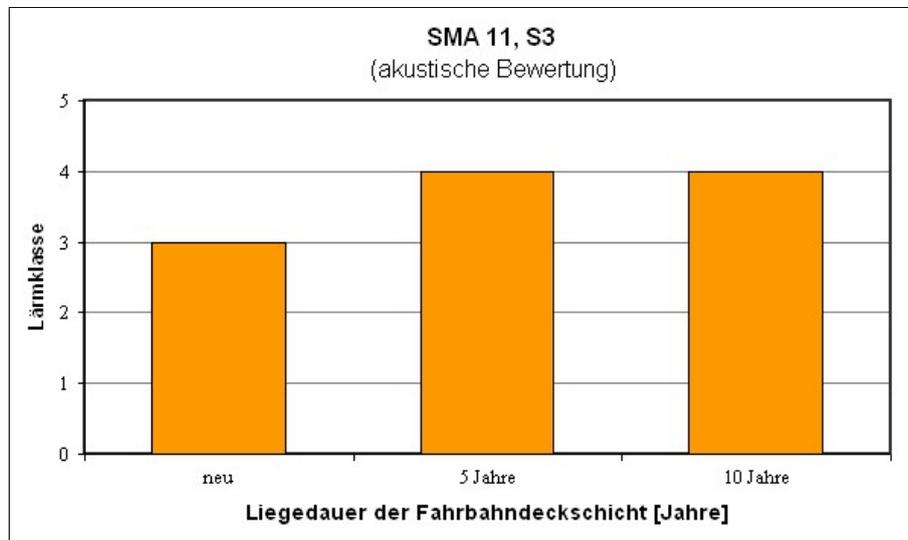


Abbildung 8.6: Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S3

Die untersuchten lärmindernden Splittmastixasphalte des Typs SMA 11, S3 weisen über die Liegedauer der Fahrbahndeckschicht von 10 Jahren eine Verschlechterung der Lärmklasse von LK 3 auf LK 4 auf und liegen somit in allen Altersklassen jeweils eine Lärmklasse über der des lärmindernden Splittmastixasphaltes SMA 8, S3.

#### 8.2.3.3 Lärmindernde Dünnschichtdecke

Zur akustischen Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps lärmindernde Dünnschichtdecke werden Messergebnisse des Typs “BBTM 8B“ herangezogen (Daten aus [29]).

#### Akustische Klassifizierung der BBTM 8B

Die für die akustische Klassifizierung relevanten Messwerte an neuen Fahrbahndeckschichten  $SPBI_{Mittel}$  und  $CPXI_{Mittel}$  wurden in Abschnitt 5.5.3.5 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildungen 5.41 und 5.42). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL0_{SPB,A+S} = SPBI_{Mittel} = 80,9 \text{ dB}(A)$
- $LABEL0_{CPX100} = CPXI_{Mittel} = 99,0 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

- $\Delta x_{SPB,A+S} = LABEL0_{SPB,A+S,Ref.} - LABEL0_{SPB,A+S} = 3,5 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 2$
- $\Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX100,Ref.} - LABEL0_{CPX100} = 1,7 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$

Durch eine Maximalwertbildung aus den beiden Lärmklassen  $LK_{SPB,A+S}$  und  $LK_{CPX100}$  folgt für den Fahrbahndeckschichttyp BBTM 8B die Lärmklasse **LK 3** im **Neuzustand**.

### Bewertung des akustischen Langzeitverhaltens der BBTM 8B

Die für die akustische Bewertung relevanten Messwerte  $CPXI_{Mittel}$  nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschichten wurden in Abschnitt 5.7 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildung 5.52). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL5_{CPX100} = CPXI5_{Mittel} = 100,9 \text{ dB}(A)$
- $LABEL10_{CPX100} = CPXI10_{Mittel} = 102,8 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

- $\Delta x_{CPX100,5} = LABEL5_{CPX100,Ref.} - LABEL5_{CPX100} = 1,6 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$
- $\Delta x_{CPX100,10} = LABEL10_{CPX100,Ref.} - LABEL10_{CPX100} = 1,6 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 3$

Der Fahrbahndeckschichttyp BBTM 8B weist somit sowohl nach **5 Jahren** als auch nach **10 Jahren** Liegedauer die Lärmklasse **LK 3** auf.

### Zusammenfassende akustische Bewertung der BBTM 8B

Zusammenfassend ist die akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B in Abbildung 8.7 dargestellt.

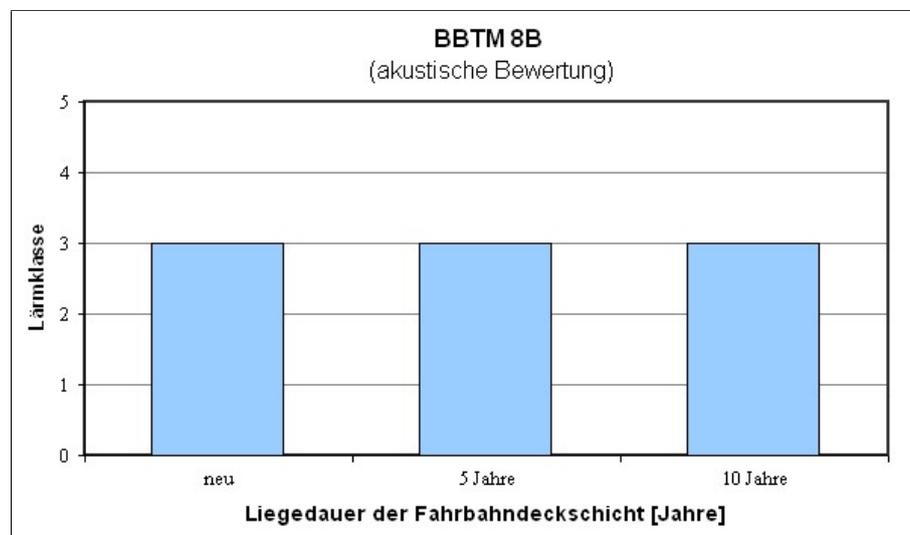


Abbildung 8.7: Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B

Die untersuchten lärm mindernden Dünnschichtdecken des Typs BBTM 8B weisen in allen Altersklassen dieselbe Lärmklasse LK 3 auf und liegen somit nach einer Liegedauer von 10 Jahren, wie die Fahrbahndeckschichttypen AC 11 deck, A2 und SMA 8, S3 im Mittelfeld aller untersuchten Fahrbahndeckschichttypen.

#### 8.2.3.4 Waschbeton

Zur akustischen Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps Waschbeton werden Messergebnisse des Typs "EACC GK 11" herangezogen (Daten aus [29]).

*Akustische Klassifizierung des EACC GK 11*

Die für die akustische Klassifizierung relevanten Messwerte an neuen Fahrbahndeckschichten  $SPBI_{Mittel}$  und  $CPXI_{Mittel}$  wurden in Abschnitt 5.6.2.5 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildungen 5.47 und 5.48). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL0_{SPB,A+S} = SPBI_{Mittel} = 85,3 \text{ dB}(A)$
- $LABEL0_{CPX100} = CPXI_{Mittel} = 101,8 \text{ dB}(A)$

Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

- $\Delta x_{SPB,A+S} = LABEL0_{SPB,A+S,Ref.} - LABEL0_{SPB,A+S} = -0,9 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 4$
- $\Delta x_{CPX} = LABEL0_{CPX100,Ref.} - LABEL0_{CPX100} = -1,1 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 4$

Durch eine Maximalwertbildung aus den beiden Lärmklassen  $LK_{SPB,A+S}$  und  $LK_{CPX100}$  folgt für den Fahrbahndeckschichttyp EACC GK 11 die Lärmklasse **LK 4** im **Neuzustand**.

*Bewertung des akustischen Langzeitverhaltens EACC GK 11*

Die für die akustische Bewertung relevanten Messwerte  $CPXI_{Mittel}$  nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer der Fahrbahndeckschichten wurden in Abschnitt 5.7 dieser Arbeit bestimmt (Details siehe Abbildung 5.52). Aus diesen Mittelwerten der Messergebnisse des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11 lassen sich die Grundwerte zur akustischen Klassifizierung folgendermaßen ableiten:

- $LABEL5_{CPX100} = CPXI5_{Mittel} = 103,2 \text{ dB}(A)$
- $LABEL10_{CPX100} = CPXI10_{Mittel} = 104,9 \text{ dB}(A)$

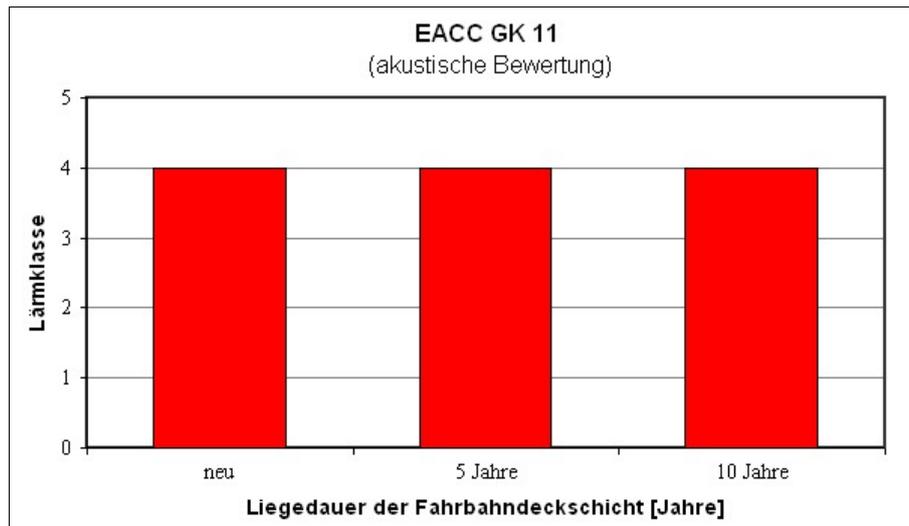
Die Bestimmung der Lärmklasse erfolgt aus:

- $\Delta x_{CPX100,5} = LABEL5_{CPX100,Ref.} - LABEL5_{CPX100} = -0,7 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 4$
- $\Delta x_{CPX100,10} = LABEL10_{CPX100,Ref.} - LABEL10_{CPX100} = -0,5 \text{ dB}(A) \Rightarrow LK 4$

Der Fahrbahndeckschichttyp EACC GK 11 weist somit sowohl nach **5 Jahren** als auch nach **10 Jahren** Liegedauer die Lärmklasse **LK 4** auf.

*Zusammenfassende akustische Bewertung EACC GK 11*

Zusammenfassend ist die akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11 in Abbildung 8.8 dargestellt.



**Abbildung 8.8:** Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11

Die untersuchten Waschbetondeckschichten des Typs EACC GK 11 weisen in den ersten Liegejahren kein Lärminderungspotenzial im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 auf und fallen somit gemeinsam mit dem AC 11 deck, A2 in die Lärmklasse “Standard“. Allerdings bleibt der Waschbeton während seiner Liegedauer konstant in der selben Lärmklasse und weist somit nach 10 Jahren Liegedauer ein ähnliches Lärminderungspotenzial wie der lärmindernde Splittmastixasphalt SMA 11, S3 und der einlagige offeneporige Asphalt PA 11, P2 auf.

#### 8.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der akustischen Bewertung der untersuchten lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen

In Tabelle 8.1 sind die Ergebnisse der akustischen Bewertung der untersuchten lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen (inkl. dem Asphaltbeton) zusammengefasst.

**Tabelle 8.1:** Zusammenfassende Analyse der durchgeführten akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen (inkl. Asphaltbeton)

FAHRBAHNDECKSCHICHTTYP	LÄRMKLASSE (NACH LIEGEDAUER)		
	neu	5 Jahre	10 Jahre
AC 11 deck, A2	LK 4	LK 4	LK 3
PA 11, P2	LK 3	LK 3	LK 4
DLPA 8/16, P2	LK 1	LK 2	LK 2
SMA 8, S3	LK 2	LK 3	LK 3
SMA 11, S3	LK 3	LK 4	LK 4
BBTM 8B	LK 3	LK 3	LK 3
EACC GK 11	LK 4	LK 4	LK 4

Die Abbildungen 8.9, 8.10 und 8.11 zeigen die zugehörige graphische Auswertung der durchgeführten akustischen Bewertung getrennt nach der Zeit der Liegedauer der Fahrbahndeckschichttypen.

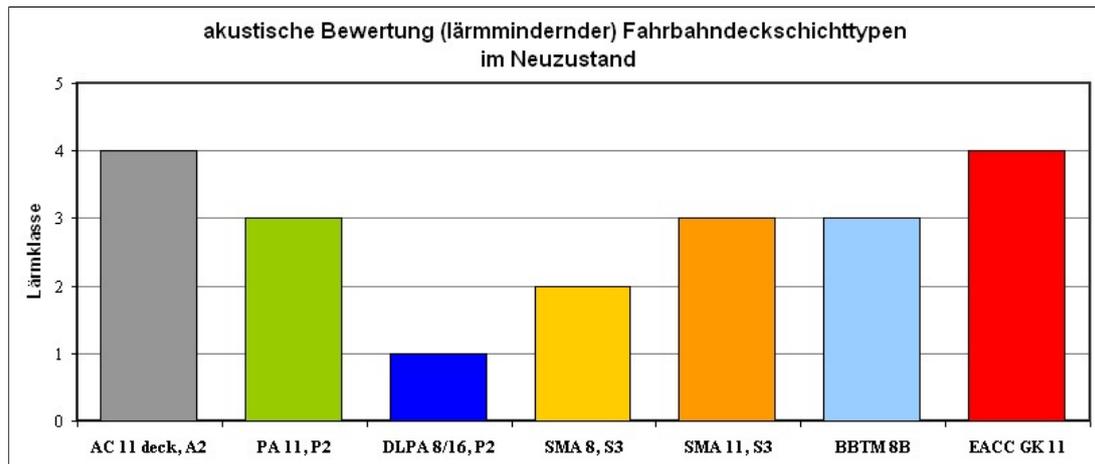


Abbildung 8.9: Akustische Bewertung der analysierten Fahrbahndeckschichttypen im Neuzustand

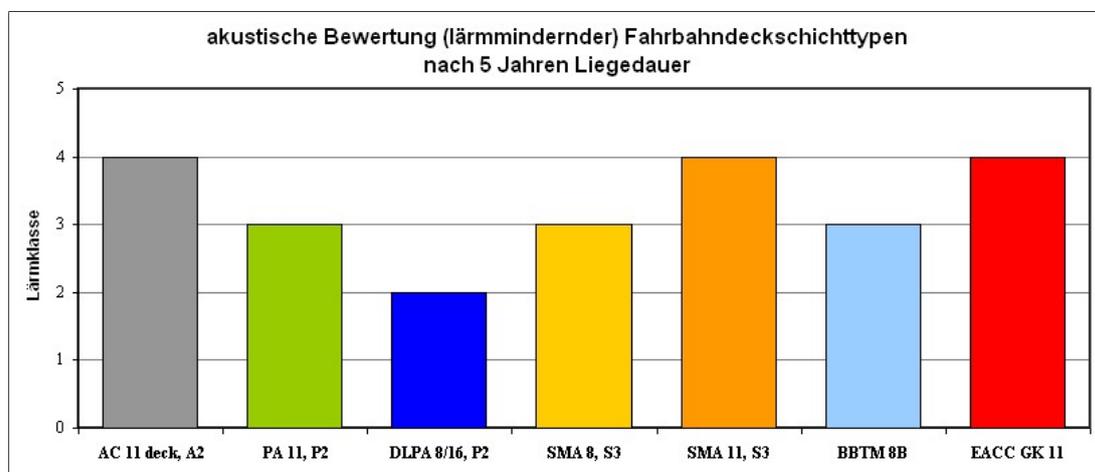


Abbildung 8.10: Akustische Bewertung der analysierten Fahrbahndeckschichttypen nach 5 Jahren Liegedauer

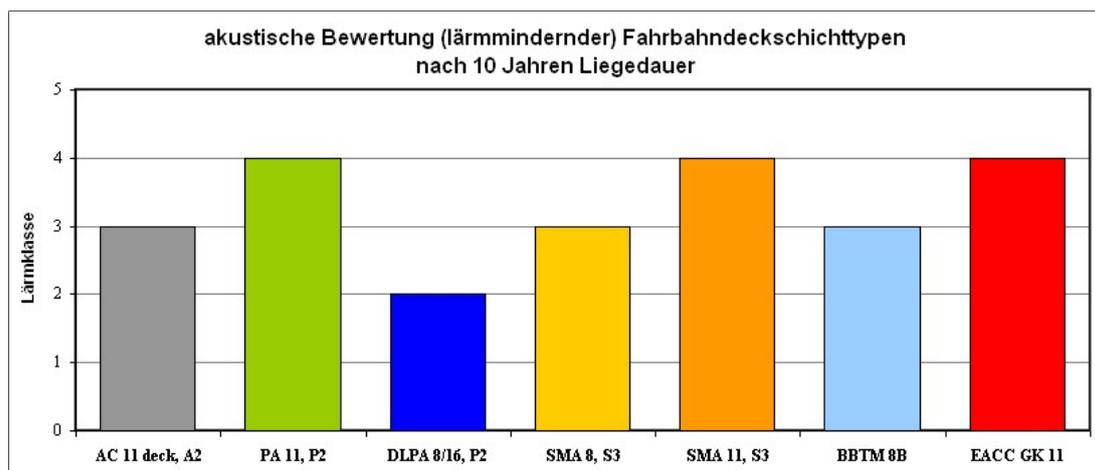


Abbildung 8.11: Akustische Bewertung der analysierten Fahrbahndeckschichttypen nach 10 Jahren Liegedauer

Tendenziell weisen die analysierten offenporigen Asphaltdeckschichten PA 11, P2 bzw. DLPA 8/16, P2 und die lärmmindernden Splittmastixasphalte SMA 8, S3 bzw. SMA 11, S3 eine Verschlechterung ihrer Lärmklasse im Laufe der Lebensdauer auf.

Der lärmmindernde Splittmastixasphalt SMA 8, S3, der im Neuzustand die Lärmklasse LK 2 aufweist, und somit neben dem zweilagigen offenporigen Asphalt DLPA 8/16, P2, der

in die Lärmklasse LK 1 zu liegen kommt, zu den leisesten der untersuchten Fahrbahndeckschichttypen zählt, fällt bereits nach 5 Jahren Liegedauer auf die Lärmklasse LK 3 zurück und liegt somit im Mittelfeld aller untersuchten Fahrbahndeckschichttypen.

Der lärm mindernde Splittmastixasphalt SMA 11, S3 liegt in allen Altersklassen jeweils eine Lärmklasse über der des lärm mindernden Splittmastixasphaltes mit Größtkorn 8 mm.

Beim Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton AC 11 deck, A2 lässt sich nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer eine Verringerung der Lärmklasse, und somit eine Verbesserung der Lärmsituation im Vergleich zum konventionellen Splittmastixasphalt SMA 11, S2, erkennen.

Der Waschbeton EACC GK 11 zeigt die über die gesamte betrachtete Zeitspanne konstante Lärmklasse LK 4 auf.

Der einlagige offenporige Asphalt PA 11, P2, der im Neuzustand und nach 5 Jahren Liegedauer noch die Lärmklasse LK 3 aufweist, fällt nach 10 Jahren Liegedauer in die Lärmklasse LK 4 zurück und liegt somit auf dem selben Niveau wie der untersuchte Waschbeton EACC GK 11.

Die lärm mindernde Dünnschichtdecke BBTM 8B behält ihre Lärmklasse LK 3 über die gesamte betrachtete Zeitspanne.

Die untersuchten zweilagigen offenporigen Asphaltdeckschichten DLPA 8/16, P2 zeigen in jedem der drei Zeitbereiche die beste Lärmklasse, gefolgt vom lärm mindernden Splittmastixasphalt mit Größtkorn 8 mm.

## 9. KAPITEL

# ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

## 9.1 Zusammenfassende Analyse

In Österreich wurde die erste lärmindernde Fahrbahndeckschicht bereits im Jahr 1984 auf der A12 - Inntal Autobahn verlegt. Es handelte sich dabei um einen Drainasphalt (offenporigen Asphalt) mit Größtkorn 11 mm. In den darauf folgenden Jahren kam es zu einem regelrechten Boom der offenporigen Asphaltbauweise im hochrangigen Straßennetz. Im Jahr 1992 betrug der Anteil der offenporigen Fahrbahndeckschichten bereits ca. 18%. Aber auch andere lärmindernde Fahrbahndeckschichttypen, wie zum Beispiel lärmindernde Dünnschichtdecken oder Waschbetondecken und Oberflächenbehandlungen auf Beton wurden zur Lärminderung eingesetzt.

In den folgenden Jahren kam es zu einem stetig ansteigenden Einsatz von lärmindernden Fahrbahndeckschichten, allerdings lässt sich beim offenporigen Asphalt ein eindeutiger Rückgang erkennen. Dieser Rückgang ist vor allem auf Vorbehalte der Straßenerhalter wegen modifizierter Anforderungen an den Winterdienst sowie auch auf die Möglichkeit von plötzlich auftretenden Versagenserscheinungen infolge starker Kornverluste zurückzuführen. Durch Inkrafttreten der EU-Umgebungslärmrichtlinie im Jahr 2002, in der jedem EU-Mitgliedsland einerseits eine Ermittlung der Belastung der Bevölkerung durch Umgebungslärm und andererseits das Erstellen von Aktionsplänen zur Vermeidung und Verminderung von Verkehrslärm (Straßen,- Bahn- und Flugverkehr) vorgeschrieben wird, und deren Umsetzung in österreichisches Recht in den darauffolgenden Jahren wurde der Einsatz verschiedener lärmindernder Fahrbahndeckschichttypen weiter forciert. Bis zum Jahr 2009 stieg deren Anteil am österreichischen hochrangigen Straßennetz auf über 35%.

Für die zurzeit in Österreich angewandten lärmindernden Fahrbahndeckschichten ist das Lärminderungspotenzial hinreichend bekannt und ebenso durch zahlreiche Messkampagnen bestätigt. Die aus diesen Messungen resultierenden Lärmemissionswerte werden in der Richtlinie RVS 04.02.11 der österreichischen Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr als Grundlage zur Lärmausbreitungsberechnung des Straßenverkehrslärms herangezogen. Allerdings beziehen sich diese Emissionswerte nur auf Typen von Deckschichten ("Deckschichtfamilien") und nicht auf spezielle Produkte von Fahrbahndeckschichten. Materialtechnische Parameter wie zum Beispiel der Hohlraumgehalt oder der Größtkorndurchmesser spielen bei dieser Einteilung keine entscheidende Rolle, obwohl diese Parameter sehr wohl einen Einfluss auf die zu erwartenden Schallemissionen aufweisen.

Bei dem in dieser Arbeit entwickelten akustischen Bewertungssystem für lärmindernde Fahrbahndeckschichten wird speziell auf eine exakte technologische Beschreibung der

betrachteten Fahrbahndeckschicht im Rahmen der zurzeit gültigen österreichischen Normen und Richtlinien Rücksicht genommen. Nur durch eine eindeutige technologische Definition der Fahrbahndeckschicht verknüpft mit durchgeführten Lärmmessungen lassen sich Schlüsse auf das Lärmverhalten dieser definierten Fahrbahndeckschicht ziehen.

Bei der akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten wird einer Fahrbahndeckschicht eine Lärmklasse zugeordnet, die das Lärminderungspotenzial der zu bewertenden Fahrbahndeckschicht im Vergleich zu einer Referenzfahrbahndeckschicht beschreibt. Als Referenzfahrbahndeckschicht wird im entwickelten System der akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten ein Splittmastixasphalt mit Größtkorn 11 mm (SMA 11, S2) herangezogen.

Insgesamt erfolgt bei der akustischen Bewertung einer Fahrbahndeckschicht eine Einstufung in vier verschiedene Lärmklassen, die jeweils einen Bereich von 2 dB(A) umfassen:

LK4	.....	Standard (enthält die Referenzfahrbahndeckschicht)
LK3	.....	lärm mindernd
LK2	.....	stark lärm mindernd
LK1	.....	sehr stark lärm mindernd

Das entwickelte Verfahren der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten gliedert sich in drei zeitlich voneinander getrennte Abläufe:

- akustische Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht (im Rahmen der Erstprüfung),
- akustische Qualitätskontrolle der klassifizierten Fahrbahndeckschicht (im Rahmen der Abnahmeprüfung) und
- akustisches Monitoring (Bewertung des Alterungsverhaltens) der akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht über ihre Lebensdauer (im Rahmen einer "Abnahmeprüfung" nach 5 oder 10 Jahren oder von periodisch durchzuführenden Prüfungen).

Durch diese Vorgehensweise kann eine vollständige lärm emissionsbedingte Betrachtung einer Fahrbahndeckschicht über ihre gesamte Liegedauer gewährleistet werden. Da lärm mindernde Fahrbahndeckschichten je nach Deckschichttyp und Bauweise (offenporige oder dichte Fahrbahndeckschichttypen) ein unterschiedliches akustisches Langzeitverhalten aufweisen, ist diese gesamtheitliche Betrachtung auch unbedingt notwendig.

Der Anwender einer akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht hat somit die Möglichkeit, diese lärm mindernde Fahrbahndeckschicht nicht nur nach ihrem Lärminderungspotenzial direkt nach Deckschichtlegung beurteilen zu können, sondern auch eine Abschätzung des Lärm emissionsverhaltens nach einer Liegedauer von mehreren Jahren zur Verfügung zu haben. Dieser Ansatz einer lärm emissionsbedingten Bewertung von Fahrbahndeckschichten über ihre Lebensdauer stellt eine vollkommen neue Herangehensweise für die praktische Anwendung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten dar. Eine lärm mindernde Fahrbahndeckschicht mit einem hohen Lärminderungspotenzial kurz nach Deckschichtlegung könnte im Laufe der Zeit einen Teil dieses Lärminderungspotenzials möglicherweise einbüßen. Aber auch der entgegengesetzte Fall einer Verbesserung des Lärminderungspotenzials wäre denkbar. Im entwickelten System der akustischen Bewertung von Fahr-

bahndeckschichten wird dieses sich verändernde Lärmverhalten über die Lebensdauer einer Fahrbahndeckschicht mitberücksichtigt.

Bei der **akustischen Klassifizierung** von Fahrbahndeckschichten wird einem speziellen Deckschichtprodukt, das durch seine Rezeptur eindeutig charakterisiert ist, mit Hilfe von durchzuführenden Lärmmessungen eine Lärmklasse zugeordnet. Diese erfolgt im Rahmen der konventionellen Erstprüfung der Deckschichtrezeptur. Ebenso werden bei der Erstprüfung vom Deckschichthersteller Merkmal-Bandbreiten für die Materialparameter der Deckschichtrezeptur festgelegt. Im nächsten Schritt ist eine Teststrecke (im realen Straßennetz oder als Versuchsstrecke) herzustellen, auf der sowohl Rollgeräuschmessungen als auch Vorbeifahrtmessungen an der Fahrbahndeckschicht durchzuführen sind. Handelt es sich bei der zu untersuchenden Fahrbahndeckschicht um eine offenporige Schicht, so sind zusätzlich Messungen des Drainverhaltens bzw. Absorptionsmessungen (optional) durchzuführen. Die Auswertung der Messungen erfolgt je nach Messmethode nach definierten Grundwerten, die dann die Grundlage zur Bestimmung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht darstellen. Die ermittelte Lärmklasse für den Neuzustand geht schließlich als Merkmal mit in die materialtechnische Charakterisierung der Fahrbahndeckschicht ein.

Im Rahmen der **akustischen Qualitätskontrolle** von Fahrbahndeckschichten ist der Nachweis der akustischen Klassifizierung bzw. der klassifizierten Lärmklasse direkt nach Deckschichtlegung zu erbringen (Abnahmeprüfung). Bei der Durchführung der akustischen Qualitätskontrolle können zwei verschiedene Fälle auftreten:

1. die eingesetzte Fahrbahndeckschicht ist bereits akustisch klassifiziert
2. für die eingesetzte Fahrbahndeckschicht liegt keine akustische Klassifizierung vor

Ist die Fahrbahndeckschicht bereits akustisch klassifiziert, so erfolgt die akustische Qualitätskontrolle innerhalb der standardmäßig durchzuführenden Abnahmeprüfung (im Rahmen einer zusätzlichen "akustischen Abnahmeprüfung"), wobei hier spezielle Anforderungen an diejenigen Material- bzw. Deckschichtparameter gestellt werden, die größtenteils für das Lärminderungspotenzial der Fahrbahndeckschicht verantwortlich sind (Hohlraumgehalt, Sieblinie und Schichtdicke). Können die angegebenen Bandbreiten der Material- bzw. der Schichtparameter der Fahrbahndeckschicht erfüllt werden, so gilt dies auch als Nachweis für die Einhaltung der entsprechenden Lärmklasse. Somit entfällt die Notwendigkeit eines messtechnischen Nachweises der angegebenen Lärmklasse durch Vorbeifahrtmessungen und/oder Rollgeräuschmessungen. Im Falle einer Nichteinhaltung dieser Bandbreiten sind zusätzliche Lärmmessungen an der abzunehmenden Fahrbahndeckschicht durchzuführen. Kann mit Hilfe der Lärmmessungen der Nachweis der Lärmklasse erbracht werden, so gilt die Fahrbahndeckschicht als akustisch abgenommen. Ist der Nachweis nicht möglich, kommt es zu einem Qualitätsabzug oder es werden bautechnische Maßnahmen gefordert.

Liegt für die eingesetzte Fahrbahndeckschicht keine akustische Klassifizierung vor, so kann der Nachweis einer Lärmklasse nur durch die Ausführung und Auswertung von Lärmmessungen (Rollgeräuschmessungen und Vorbeifahrtmessungen) erfolgen. Dieser Fall ist allerdings nur dann möglich, wenn im Rahmen einer Ausschreibung eine gewisse Lärmklasse gefordert wurde und sich der Auftraggeber für die angebotene Fahrbahndeckschicht entschieden hat, obwohl noch keine akustische Klassifizierung für dieses Deckschichtprodukt vorliegt. Für die Bestimmung der Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht

ist dann in der selben Art und Weise wie bei der akustischen Klassifizierung vorzugehen. Kann nach Durchführung der Lärmmessungen die gewünschte akustische Klassifizierung der Fahrbahndeckschicht erreicht werden, so ist die akustische Abnahme erfüllt. Ist der Nachweis nicht möglich, kommt es zu einem Qualitätsabzug oder es werden bautechnische Maßnahmen gefordert.

Das **akustische Alterungsverhalten** einer Fahrbahndeckschicht wird heutzutage im Ausschreibungsprozess nicht direkt berücksichtigt. Nach Deckschichtlegung wird das Lärmemissionsverhalten des Produktes im Rahmen der Abnahmeprüfung durch Rollgeräuschmessungen überprüft. Danach bestehen für den Auftragnehmer keine weiteren Verpflichtungen zur Erfüllung etwaiger Lärminderungspotenziale während der Liegedauer der Fahrbahndeckschicht. Im entwickelten akustischen Bewertungssystem wird hingegen das Alterungsverhalten einer Fahrbahndeckschicht durch die Angabe einer Lärmklasse nach 5 bzw. 10 Jahren Liegedauer berücksichtigt. Für das durchzuführende akustische Monitoring (der Bewertung des Alterungsverfahrens) können zwei verschiedene Fälle auftreten:

1. für die vorhandene Fahrbahndeckschicht existiert eine akustische Bewertung
2. für die vorhandene Fahrbahndeckschicht existiert eine Abschätzung einer akustischen Bewertung

Liegt für die vorhandene Fahrbahndeckschicht eine akustische Bewertung vor, so wurde der Fahrbahndeckschicht bereits eine Lärmklasse zugewiesen. Im Rahmen des akustischen Monitorings (der Überprüfung des angegebenen akustischen Alterungsverhaltens) hat ein Nachweis der angegebenen bewerteten Lärmklasse zu erfolgen. Dieser Nachweis geht mit Hilfe einer visuellen Zustandserfassung von statten. Eine zusätzlich durchgeführte Verkehrszählung dient als Absicherung des Auftragnehmers, da eine Erhöhung des Lärmpegels aufgrund einer gesteigerten Verkehrsbelastung nicht zu Lasten der Fahrbahndeckschicht gezählt werden kann und darf.

Die Durchführung von Rollgeräuschmessungen ist in diesem Fall aber nicht unbedingt notwendig, allerdings immer möglich. Für offenporige Fahrbahndeckschichten ist zusätzlich eine Messung des Drainverhaltens durchzuführen. Kann aufgrund der durchgeführten Messungen der Nachweis der angegebenen Lärmklasse erbracht werden, so sind keine weiteren Lärmmessungen mehr notwendig. Wird der Nachweis allerdings nicht erbracht, ist die angegebene Lärmklasse der Fahrbahndeckschicht mit Hilfe von durchgeführten Rollgeräuschmessungen zu bestätigen. Kann durch die Lärmmessungen der Nachweis ebenfalls nicht erbracht werden, haben bautechnische Maßnahmen zu erfolgen (Ersatz der Fahrbahndeckschicht oder z.Bsp. eine Überbauung mit einer Dünnschichtdecke).

Liegt für die vorhandene Fahrbahndeckschicht lediglich eine Abschätzung der akustischen Eigenschaften vor, so wurde dem Produkt vom Deckschichthersteller eine "provisorische" Lärmklasse zugewiesen. Die Abschätzung der Lärmklasse kann entweder aus bereits vorhandenen Informationen über das Lärmverhalten des zugeordneten Fahrbahndeckschichttyps (der "Deckschichtfamilie") oder aus Prognosen aus bereits an dieser Fahrbahndeckschicht durchgeführten Lärmmessungen erfolgen. Der Deckschichthersteller kann somit bei einer Ausschreibung sein Produkt durch Angabe einer akustischen Abschätzung über einen gewissen Zeitabschnitt anbieten und somit möglicherweise einen Wettbewerbsvorteil erreichen. Allerdings tritt damit auch ein Gewährleistungsanspruch des Auftraggebers

in Kraft. Im Rahmen des akustischen Monitorings (der Überprüfung des angegebenen akustischen Alterungsverhaltens) ist diese Abschätzung der Lärmklasse zu bestätigen. Dieser Nachweis erfolgt mit Hilfe von durchgeführten Rollgeräuschemessungen. Ist die bei den Lärmessungen bestimmte Lärmklasse gleich oder sogar niedriger als die abgeschätzte Lärmklasse, so gilt die abgeschätzte Lärmklasse als bestätigt und der untersuchten Fahrbahndeckschicht kann die ermittelte Lärmklasse zugeordnet werden. Kann die abgeschätzte Lärmklasse allerdings nicht nachgewiesen werden, haben bautechnische Maßnahmen zu erfolgen (Ersatz der Fahrbahndeckschicht oder z.Bsp. eine Überbauung mit einer Dünnschichtdecke).

Liegt für eine bereits 5 Jahre liegende Fahrbahndeckschicht weder eine akustische Bewertung noch eine Abschätzung der akustischen Bewertung nach 5 Jahren Liegedauer vor, so kann der Deckschichthersteller im eigenen Interesse eine akustische Bewertung dieser Fahrbahndeckschicht durchführen und dieser somit eine Lärmklasse zuordnen. Diese Zuordnung hat mit Hilfe von durchgeführten Rollgeräuschemessungen in der selben Art und Weise wie im zuvor beschriebenen Fall 2 zu erfolgen und dient einer Verbesserung der Datengrundlage zur Bewertung des Lärmemissionsverhaltens des untersuchten Deckschichtproduktes. Bei einer nochmaligen Anwendung dieser Fahrbahndeckschicht kann der Deckschichthersteller bei seiner Angebotslegung dann eine Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer angeben.

Das akustische Monitoring einer lärm mindernden Fahrbahndeckschicht hat jeweils in einem Abstand von 5 Jahren zu erfolgen, das heisst, nach 5 bzw. 10 Jahren nach Deckschichtlegung. Mit Hilfe des entwickelten Bewertungssystems für lärm mindernde Fahrbahndeckschichten wurden schlußendlich **akustische Bewertungen** der in Österreich am häufigsten angewandten **lärm mindernden Fahrbahndeckschichttypen** durchgeführt. Die Analysen für die drei untersuchten Zeitbereiche Neuzustand, 5 bzw. 10 Jahre Liegedauer zeigen folgende Tendenzen:

- Die analysierten offenporigen Asphaltdeckschichten PA 11, P2 bzw. DLPA 8/16, P2 und die lärm mindernden Splittmastixasphalte SMA 8, S3 bzw. SMA 11, S3 zeigen eine Verschlechterung ihrer Lärmklasse im Laufe der Lebensdauer.
- Der lärm mindernde Splittmastixasphalt SMA 8, S3, der im Neuzustand die Lärmklasse LK 2 aufweist, und somit neben dem zweilagigen offenporigen Asphalt DLPA 8/16, P2, der in die Lärmklasse LK 1 zu liegen kommt, zu den leisesten der untersuchten Fahrbahndeckschichttypen zählt, fällt bereits nach 5 Jahren Liegedauer auf die Lärmklasse LK 3 zurück und liegt somit im Mittelfeld aller untersuchten Fahrbahndeckschichttypen.
- Der lärm mindernde Splittmastixasphalt SMA 11, S3 liegt in allen Altersklassen jeweils eine Lärmklasse über der des lärm mindernden Splittmastixasphaltes mit Größtkorn 8 mm.
- Der Waschbeton EACC GK 11 zeigt die über die gesamte betrachtete Zeitspanne konstante Lärmklasse LK 4 auf.
- Die untersuchten zweilagigen offenporigen Asphaltdeckschichten DLPA 8/16, P2 zeigen in jedem der drei Zeitbereiche die beste Lärmklasse, gefolgt vom lärm mindernden Splittmastixasphalt mit Größtkorn 8 mm.

## 9.2 Mögliche Weiterentwicklung

Das entwickelte System zur akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten wurde bezugnehmend auf das Lärminderungspotenzial von lärmtechnisch optimierten Fahrbahndeckschichten entwickelt. Das bedeutet, im Rahmen der Anwendung des Systems wird rein auf die Entwicklung der Lärmemissionen einer Fahrbahndeckschicht Rücksicht genommen. Eine Einbeziehung von Kosten/Nutzen-Analysen in das entwickelte System zur akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten erscheint daher auf alle Fälle sinnvoll. Auch hier sind bereits erste Ansätze in europäischen Forschungsprojekten (beispielsweise SILVIA oder SILENCE) getroffen worden. Allerdings erscheint eine sinnvolle monetäre Bewertung von dB(A)-Werten sehr schwierig durchzuführen zu sein. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren auf entstehende Lärmemissionen aus dem Straßenverkehr ist es weiters auch schwierig, eine eindeutige Zuordnung des Einflusses der Fahrbahndeckschicht auf das Gesamtgeräusch durchzuführen. Ohne die Entwicklung von realen Kostenansätzen (Einbau, Erhaltung) für eine Lebenszyklusanalyse über die Lebensdauer von verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen werden lärm mindernde Fahrbahndeckschichttypen keinen (monetär bewerteten) Vorteil aus ihrem Lärminderungspotenzial ziehen können. Für den Neuzustand einer Fahrbahndeckschicht (Einbaukosten) lassen sich allerdings Aussagen treffen.

Als ein Ziel dieser Arbeit wurde im Vorwort definiert, lärm mindernde Fahrbahndeckschichten als Lärmreduktionsmaßnahme im Straßenverkehr attraktiver zu machen und deren Einsatz in der Praxis weiterhin zu fördern. Durch eine Integrierung des entwickelten Systems zur akustischen Bewertung von lärm mindernden Fahrbahndeckschichten bei Ausschreibungen von Straßenbauvorhaben könnte dies durchaus möglich sein. Die ausschreibende Stelle hätte somit die Möglichkeit, für eine Fahrbahndeckschicht eine spezielle Lärmklasse für den Neuzustand, für eine Liegedauer von 5 Jahren bzw. für eine Liegedauer von 10 Jahren zu fordern (oder auch nur für einen einzelnen Zeitbereich). Somit besteht die Möglichkeit, das lärmemissionsbedingte Alterungsverhalten verschiedener Fahrbahndeckschichten in den Ausschreibungsprozess zu integrieren. Ebenso ergibt sich für den Anbieter der Vorteil, verschiedene Fahrbahndeckschichten, die die geforderten Lärmklassen aufweisen, anbieten zu können oder auf spezielle (neu entwickelte) Deckschichtentwicklungen zurückgreifen zu können.

Die Analyse des akustischen Alterungsverhaltens einer Fahrbahndeckschicht stellt einen wachsenden Prozess dar. Eine Lärmklasse nach 5 Jahren Liegedauer, die durch Rollgeräuschmessungen bestätigt wurde, kann als Grundlage für eine Abschätzung des Lärmverhaltens der untersuchten Fahrbahndeckschicht nach einer Liegedauer von 10 Jahren herangezogen werden. Durch diesen dynamischen Vorgang lässt sich das akustische Alterungsverhalten einer speziellen Fahrbahndeckschicht im Laufe der Zeit immer gründlicher erfassen. Eine konkrete Absicherung der bestimmten Lärmklassen bzw. Grundwerten kann allerdings erst durch eine Vielzahl an durchgeführten Lärmmessungen erfolgen.

Eine Integrierung des entwickelten Systems der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten in das heutzutage angewandte Verfahren zur Schallausbreitungsberechnung gem. RVS 04.02.11, in dem die Lärmemission von Fahrbahndeckschichttypen im Neuzustand als wichtiger Eingangsfaktor berücksichtigt wird, könnte ebenso eine große Erweiterung bei

der Berücksichtigung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten in der Schallausbreitungsberechnung bedeuten. Zur Zeit beziehen sich die in der RVS 04.02.11 angewandten Emissionswerte nur auf Typen von Deckschichten (“Deckschichtfamilien“) und nicht auf spezielle Produkte von Fahrbahndeckschichten. Materialtechnische Parameter wie zum Beispiel der Hohlraumgehalt oder der Größtkorndurchmesser spielen bei dieser Einteilung keine entscheidende Rolle, obwohl diese Parameter sehr wohl einen Einfluss auf die zu erwartenden Schallemissionen aufweisen. Im entwickelten akustischen Bewertungssystem von Fahrbahndeckschichten können sowohl einzelne Fahrbahndeckschichten als auch speziell entwickelte Deckschichtprodukte berücksichtigt werden (im Gegensatz zur jetzt gültigen Methode).

Ebenso könnte eine Erweiterung im österreichischen System der Schallausbreitungsrechnung durch die Berücksichtigung des Alterungsverhaltens einer lärmindernden Fahrbahndeckschicht durch einen Alterungsfaktor durchaus vorstellbar sein.

# LITERATURVERZEICHNIS

- [1] EU-Projekt SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control). *Guidance Manual for the implementation of low-noise road surfaces*. European Commission, Directorate General for Energy and Transport, Contract No. GRD2/2000/31801/S/2.335701, FEHRL Report 2006/02, Brüssel, Belgien, November 2006.
- [2] Veit I. *Technische Akustik: Grundlagen der physikalischen, physiologischen und Elektroakustik*. Vogel Buchverlag, Kamprath-Reihe Technik, ISBN 3-8023-0063-7, Würzburg, Deutschland, 1988.
- [3] RVS 04.02.13 Merkblatt. *Verkehrsberuhigung - Auswirkungen auf die Lärm- und Luftschadstoffbelastung*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, Juni 2006.
- [4] Pucher E. *Fahrzeugakustik*. Skriptum zur Vorlesung LV.Nr.:315.026, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, Technische Universität Wien, Wien, Österreich, 2010.
- [5] Hoffmann H. und von Lüpke A. *0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel, Einführung in die Grundbegriffe und die quantitative Erfassung des Lärms*. Institut für Lärmbekämpfung des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaft, Erich Schmid Verlag, 8. Auflage, ISBN 3-503-07470-8, Berlin, Deutschland, 2003.
- [6] ÖNORM S 5001-3. *Akustik - Größen, Einheiten und Begriffsbestimmungen - Schallmeß- und beurteilungsgrößen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Oktober 1993.
- [7] ÖNORM S 5004. *Messung von Schallimmissionen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Dezember 2008.
- [8] RL 2002/49/EC. *Richtlinie 2002/49/EC des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm*. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L189, Brüssel, Belgien, 18.07.2002.
- [9] RVS 04.02.11. *Umweltschutz - Lärm und Luftschadstoffe - Lärmschutz*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, März 2009.
- [10] <http://www.asfinag.at>.
- [11] Umweltbundesamt. *Umweltsituation in Österreich*. Achter Umweltkontrollbericht, Umweltbundesamt, ISBN 3-85457-904-7, Wien, Österreich, 2007.

- [12] Haberl J.; Pucher E.; Litzka J. und Kalivoda M. *Reale Lärm- Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs und Reduktionsszenarien durch Gesamtsystemoptimierung*. Schlussbericht des FFF Projektes Nr. 806215 im Rahmen des A3 Programms des BMVIT, Wien, Österreich, 2004 (unveröffentlicht).
- [13] Litzka J. und Haberl J. *Actual research on noise reducing surfaces*. 7th Slovenian Road and Transport Congress, Ljubljana-Portoroz, Slowenien, 2004.
- [14] Schwarz R. *Systematische Erfassung der Einflüsse von Fahrbahn-, Reifen- und Fahrzeugparametern auf das Außen- und Innengeräusch von Pkw*. Dissertation am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, Wien, Österreich, 1998.
- [15] Beckenbauer Th.; Spiegler P. und van Bockland G.-J. *Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch*. Forschungsbericht aus dem Forschungsprogramm des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Heft 847, Bonn, Deutschland, August 2002.
- [16] Krell K. *Handbuch für Lärmschutz an Straßen und Schienenwegen*. Otto Elsner Verlagsgesellschaft mbH, ISBN 3-87199-100-7, Darmstadt, Deutschland, 1999.
- [17] Haberl J. und Litzka J. *Bewertung der Nahfeld- Geräuschemission österreichischer Fahrbahndeckschichten*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 554, Wien, Österreich, 2004.
- [18] De Graaff D.F. *A Speed and Acceleration Limit in the Noise Type Approval of Vehicles Will Enable Silent Cars to Reveal Their Silence*. INTERNOISE 2001 proceedings, The Hague, Niederlande, August 2001.
- [19] Kuijpers A. und van Blokland G.-J. *Tyre/road noise models in the last two decades: a critical evaluation*. INTERNOISE 2001 proceedings, The Hague, Niederlande, August 2001.
- [20] Beckenbauer Th. *Grundlagen der Straßenverkehrslärmbekämpfung durch Rollgeräuschkinderung*. 2. Informationstage - Geräuschkindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis, Augsburg, Deutschland, April 2004.
- [21] Pucher E.; Litzka J.; Haberl J. und Girard J. *Einfluss von Reifenparametern auf das Außengeräusch - Ergebnisse basierend auf einer Europäischen Forschungsdatenbank*. 2. Symposium Reifen und Fahrwerk, VDI Bericht Nr. 580, VDI Verlag GmbH, Wien, Österreich, 2004.
- [22] <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/reifen.htm>.
- [23] RL 2001/43/EG. *Richtlinie 2001/43/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 zur Änderung der Richtlinie 92/23/EWG des Rates über Reifen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und über ihre Montage*. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L211, Brüssel, Belgien, 04.08.2001.

- [24] <http://www.umweltdaten.de/verkehr/downloads/umweltzeichen.pdf>.
- [25] Reithmaier W. und Salzinger T. *Ermittlung des aktuellen Standes der Technik im Hinblick auf Abrollgeräusch, Rollwiderstand sowie Sicherheitseigenschaften von Pkw- Reifen*. Deutsches Umweltbundesamt, Forschungsbericht 201 54 112, Berlin, Deutschland, 2002.
- [26] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU). *Lärmarme Reifen und geräuschmindernde Fahrbahnbeläge, Erkenntnisse - Maßnahmen - Konzepte*. LfU, Referat 33 - Luftqualität, Lärm, Verkehr, Karlsruhe, Deutschland, 2004.
- [27] Haberl J. und Litzka J. *Versuchsstrecke lärmindernde Straßendecken A12*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung, Schlussbericht Projekt Nr. 3.316, Wien, Österreich, 2007 (unveröffentlicht).
- [28] ISO/CD 11819-2. *Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The Close Proximity Method*. International Organisation for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, Jänner 2001.
- [29] Haberl J. *Datenbank österreichischer Lärmmessungen*. Wien, Österreich, 2010 (unveröffentlicht).
- [30] Sandberg U. und Ejsmont J. *Tyre/road noise reference book*. Informex, ISBN 91-631-2610-9, Schweden, 2002.
- [31] Pestalozzi H.; Grolimund H.-J. und Angst Ch. *Lärmarme bituminöse Straßenbeläge innerorts - Statusbericht 2003*. Bundesamt für Umwelt, Wald- und Landschaft (BUWAL), Bern, Schweiz, 2003.
- [32] Huschek S. und Merzoug P.D. *Zusammenhang zwischen Rauheit und Griffigkeit*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BMV, Heft 735, Bonn, Deutschland, 1996.
- [33] ISO 13473-1. *Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 1: Determination of Mean Profile Depth*. International Organisation for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 2004.
- [34] Litzka J. und Haberl J. *Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahn - Zielkonflikte und Optimierungsmöglichkeiten aus straßenbaulicher Sicht*. VDI- Bericht Nr. 664, Wien, Österreich, 2007.
- [35] Pfeiler A. *Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstraßen*. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung, Heft 16, Technische Universität Wien, Wien, Österreich, 2004.
- [36] FGSV. *Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Fahrbahndecken aus Beton*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Deutschland, 2000.

- [37] Brosseaud Y. und Anfosso-Lédée F. *Les revêtements de chaussée limitant le bruit de roulement, exemple de partenariat et de coopération entre l'administration et les entreprises françaises (Lärmindernde Straßendecken, Beispiel einer Zusammenarbeit zwischen den französischen Behörden und Firmen)*. LCPC, Congrès INFRA 2001 - De la tradition à l'innovation, CERIU, Montréal, Kanada, November 2001.
- [38] Lelong J. *A French Database on the Acoustic Emission of Transportation Vehicles*. EU- Projekt SILVIA, Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control, European Commission, Directorate General for Energy and Transport, Contract No. GRD2/2000/31801/S/2.335701, 2002 (unveröffentlicht).
- [39] <http://www.dalaerm.de/>.
- [40] Lenz H.P.; Pucher E.; Schwarz R. und Polt G. *Erarbeitung von Maßnahmen zur Reduzierung der Außengeräusche von Kfz*. Bundesministerium für Wissenschaft, Verkehr und Kunst, Wien, Österreich, 1996.
- [41] ISO 362. *Acoustics – Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles – Engineering method*. International Organisation for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, Juni 1998.
- [42] ÖAL Richtlinie 29. *Kriterien für lärmarme Lastkraftwagen und Omnibusse*. ÖAL (Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung), Wien, Österreich, 1987.
- [43] Angst Ch.; Beltzung F.; Bosshardt D.; Grolimund H.-J. und Bühlmann E. *Lärmarme Strassenbeläge innerorts (Statusbericht 2009)*. BAFU (Bundesamt für Umwelt) und ASTRA (Bundesamt für Strassen), Bern, Schweiz, 2010.
- [44] Lenz H.P.; Pucher E. und Schwarz R. *Schirmprojekt Lärmarme Straße - Forschungsgruppe 1, Reifen - Pkw*. Schlussbericht, Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr, Wien, Österreich, 1997.
- [45] Lenz H.P.; Pucher E. und Polt G. *Schirmprojekt Lärmarme Straße - Forschungsgruppe 1, Reifen - Lkw*. Schlussbericht, Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr, Wien, Österreich, 1997.
- [46] Litzka J. und Hochreiter Ch. *Schirmprojekt Lärmarme Straße - Forschungsgruppe 2, Fahrbahn*. Schlussbericht, Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr, Wien, Österreich, 1997.
- [47] EU-Projekt SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control). *Recommendations on Specifications for Tyre and Vehicle Requirements*. European Commission, Directorate General for Energy and Transport, Contract No. GRD2/2000/31801/S/2.335701, Deliverable D07, Brüssel, Belgien, 2004.
- [48] Westhauser Ch. *Ein Leitfaden zur Verkehrsberuhigung*. Amt der NÖ Landesregierung, St. Pölten, Österreich, 2004.

- [49] Weißenberger W. *Schallschutz im Straßenverkehr - Einführung*. Informationstage - Geräuschkindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis, Müller-BBM, Augsburg, Deutschland, November 2002.
- [50] Lelong J. *Vehicle Noise Emission: Evaluation of the Tyre/Road and the Motor-Noise Contributions*. Proceedings INTERNOISE 1999, pp. 203-208, paper n°106, Fort Lauderdale, Florida, USA, Dezember 1999.
- [51] v.Hofe R. und Brandl F. *Schirprojekt Lärmarme Straße - Forschungsgruppe 3, Extrem lärmarme Diesel*. Schlussbericht, Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr, Wien, Österreich, 1997.
- [52] ISO 10844. *Acoustics - Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles*. International Organisation for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, September 1994.
- [53] RL 92/97/EWG. *Richtlinie 92/97/EWG des Rates vom 10. November 1992 zur Änderung der Richtlinie 70/157/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen*. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel, Belgien, 1992.
- [54] Litzka J. und Pracherstorfer W. *Lärmemission von Straßendecken - Voruntersuchungen und Beeinflussungsmöglichkeiten*. Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr, Schlussbericht, Wien, Österreich, Juni 1996 (unveröffentlicht).
- [55] Beckenbauer Th. und Scheuren J. *Lärminderung und Lärmschutz an Straßen - Stand der Technik und Perspektiven*. VSVI Bayern, Deutschland, 2007.
- [56] ÖNORM B 3586-1. *Asphaltmischgut - Asphaltmischgutanforderungen, Offenporiger Asphalt - empirischer Ansatz*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Dezember 2009.
- [57] ÖNORM B 3580-1. *Asphaltmischgut - Asphaltmischgutanforderungen, Teil 1: Asphaltbeton - empirischer Ansatz*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Dezember 2009.
- [58] BUWAL. *Schriftenreihe Umwelt Nr. 329*. Bundesamt für Umwelt, Wald- und Landschaft, Bern, Schweiz, 2002.
- [59] ÖNORM EN 1992-1-1. *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juli 2009.
- [60] Gruber K.; Nadler F.; Robl J. und Talasch W. *Entwicklung eines wirtschaftlichen Lärmschutzsystems*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 509, Wien, Österreich, 2001.
- [61] Zotter F. *Entwicklung des Lärmschutzes im internationalen Vergleich*. Fachtagung Lärmschutz - Stillstand oder Trendwende, ASFINAG, Krems, Österreich, Juni 2003.

- [62] <http://www.innovatieprogrammageduid.nl/>.
- [63] Thaler R.; Gartner H.; Gratt W.; Doppler A.; Bergthaler W.; Leszkovics L.; Niedersüß D.; Paula L.; Kandl P.; Hrdliczka R. und Emrich H. *Handbuch Umgebungslärm - Minderung und Ruhevorsorge*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien, Österreich, 2007.
- [64] <http://www.biw.fhd.edu/alumni/2001/grotz/laermschutzwaelle/allgemeines.htm>.
- [65] Kaufmann W. *Lärmschutz an Autobahnen - Sanierung und Projektierung aus Sicht der ASFINAG*. Oberösterreichische Umweltschutzanstalt, Linz, Österreich, Februar 2008.
- [66] BMVIT. *Dienstanweisung für Lärmschutz an Bundesstraßen (Autobahnen und Schnellstraßen)*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Österreich, November 2006.
- [67] Haberl J.; Bendtsen H.; Sandberg U. und Watts G. *Möglichkeiten der Verkehrslärmreduktion durch Verkehrsmanagementmaßnahmen*. 14. Konferenz Verkehrslärm, Hamann Consult, Dresden, Deutschland, 2005.
- [68] Bendtsen H.; Haberl J.; Sandberg U. und Watts G. *Effekt af miljøprioriteret gennemfart. Forureningseffekterne. Støj, luftforurening, vibrationer og energiforbrug Vinderup (Effect evaluation of environmentally adapted through roads. Environmental effects. Noise, air pollution, vibrations and energy consumption, Vinderup)*. Road Directorate/Road Data Laboratory, Report 49, Kopenhagen, Dänemark, 2006.
- [69] Abbot Ph.; Watts G. und Harris G. *Traffic calming in Gloucester - influence on noise and ground-borne vibration*. Proceedings of Internoise 2000, Nizza, Frankreich, 2000.
- [70] Plüss P.; Meury F. und Mohler P. *Verringerung der Lärmbelastung durch die Umgestaltung einer ampelgeregelten Kreuzung in einen Kreisel*. Strasse und Verkehr Nr.10, VSS Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute, Zürich, Schweiz, Oktober 2003.
- [71] Pischinger R.; Jammernegg G.; Staska G.; Sturm P.; Sudy C.; Sammer G.; Fallast K.; Hochkofler M. und Wernsperger F. *Tempo 30/50 in Graz*. Schriftenreihe des Institutes für Straßen- und Verkehrswesen, Heft 21, Verlag für die Technische Universität Graz, Graz, Österreich, 1995.
- [72] Rankl Ch. *Ermittlung der Auswirkungen von LKW-Nachtfahrverboten auf der B312 Loferer Straße durch Immissionserschallmessungen*. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München, Deutschland, 1992.
- [73] Molzer Ch. *Lärmschutz in Tirol - ein Erfahrungsbericht*. Symposium Lärmschutz, ASFINAG, Krems, Österreich, Juni 2003.

- [74] ISO 11819-1. *Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: The Statistical Pass-By Method*. International Organisation for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, September 1997.
- [75] Pracherstorfer W. und Litzka J. *Österreichische Erfahrungen mit lärmindernden Straßendecken*. Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 427, Wien, Österreich, 1994.
- [76] RVS 11.06.64. *Rollgeräuschemessungen*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, April 1997.
- [77] RVS 11.06.61. *Drainverhalten mit dem Ausflussmessgerät*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, November 1995.
- [78] DIN ISO 13472-1. *Akustik - Messung der Schallabsorptionseigenschaften von Straßenoberflächen vor Ort - Teil 1: Freifeldverfahren (ISO 13472-1:2002)*. International Organisation for Standardization (ISO), Deutsche Fassung 2004, Genf, Schweiz, April 2004.
- [79] RVS 11.06.66. *Lasertexturmessungen mit dem System RoadSTAR*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, November 2004.
- [80] ÖNORM EN 13036-3. *Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen - Prüfverfahren - Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juli 2010.
- [81] Haberl J. *Abschätzung aus den Daten des ASFINAG-EMS, Stand Ende 2009*. ASFINAG, Wien, 2010 (unveröffentlicht).
- [82] <http://www.imagine-project.org/>.
- [83] RL 89/106/EWG. *Richtlinie 89/106/EWG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte*. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft EG L40, Brüssel, Belgien, 11.2.1998.
- [84] ÖNORM EN 13108-20. *Asphaltemischgut Mischgutanforderungen Teil 20: Erstprüfung*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Mai 2009.
- [85] RVS 08.16.01. *Technische Vertragsbedingungen - Bituminöse Trag- und Deckschichten - Anforderungen an Asphalt-schichten*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, Februar 2010.
- [86] Kostjak M. *Die Auswirkungen der europäischen Normung für Asphalt auf die RVS*. Mitteilungen der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, September 2006.
- [87] RVS 01.02.12. *Begriffsbestimmungen - Technische Begriffsbestimmungen - Asphalttechnik*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, Jänner 2007.

- [88] Blab R.; Gagliano B. und Kappl K. *Auswahl geeigneter Asphaltmischgüter und Bindemittel für optimierte Oberbaukonstruktionen*. DACH - Initialprojekt, Teilbericht Österreich, Wien, Österreich, August 2007.
- [89] ÖNORM B 3580-2. *Asphaltmischgut - Asphaltmischgutanforderungen, Teil 2: Asphaltbeton - gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, November 2010.
- [90] ÖNORM B 3584-2. *Asphaltmischgut - Asphaltmischgutanforderungen, Splittmastixasphalt - gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, November 2010.
- [91] ÖNORM B 3586-2. *Asphaltmischgut - Asphaltmischgutanforderungen, Offenporiger Asphalt - gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, November 2010.
- [92] RVS 08.97.05. *Technische Vertragsbedingungen - Baustoffe - Anforderungen an Asphaltmischgut*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, Februar 2010.
- [93] RVS 11.03.21. *Asphaltschichten, Prüfung und Abrechnung*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, Februar 2010.
- [94] <http://www.enzyklo.de/begriff/abnahmepr>
- [95] RVS 10.01.11. *Besondere rechtliche Vertragsbestimmungen für Bauleistungen an Straßen*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, Dezember 2009.
- [96] RVS 11.06.67. *Querebenheitsmessungen mit dem System RoadSTAR*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, November 2004.
- [97] RVS 11.06.65. *Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, November 2002.
- [98] RVS 08.17.02. *Technische Vertragsbedingungen - Betondecken - Deckenherstellung*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, März 2007.
- [99] ÖNORM EN 13877-1. *Fahrbahnbefestigungen aus Beton - Teil 1: Baustoffe*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, November 2004.
- [100] ÖNORM EN 13877-2. *Fahrbahnbefestigungen aus Beton - Teil 2: Funktionale Anforderungen an Fahrbahnbefestigungen aus Beton*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, November 2004.
- [101] Litzka J. *Austrian experiences with porous asphalt*. European conference on porous asphalt, pp. 988-1005, Madrid, Spanien, 1997.
- [102] Drüschner L. und Schäfer V. *Asphaltleitfaden - Splittmastixasphalt*. Deutscher Asphaltverband e.V., Bonn, Deutschland, Dezember 2000.

- [103] Müller W.; Buchta H.; Pass F. und Vasiljevic V. *GESTRATA Asphalthandbuch - Asphalt im Straßenbau*. GESTRATA - Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt, Wien, Österreich, September 2002.
- [104] ÖNORM B 3584-1. *Asphaltmischgut - Asphaltmischgutanforderungen, Splittmastixasphalt - empirischer Ansatz*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Dezember 2009.
- [105] ÖNORM EN 1097-2. *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juni 2010.
- [106] ÖNORM EN 1097-8. *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 8: Bestimmung des Polierwertes*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, August 2009.
- [107] ÖNORM EN 12591. *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Anforderungen an Straßenbaubitumen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juli 2009.
- [108] ÖNORM B 3613. *Polymermodifizierte Bitumen für den Straßenbau - Anforderungen - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 14023*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Jänner 2007.
- [109] ÖNORM EN 12697-8. *Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 36: Bestimmung der Dicke von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juli 2003.
- [110] ÖNORM EN 12697-8. *Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 8: Bestimmung von volumetrischen Charakteristiken von Asphalt-Probekörpern*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juni 2003.
- [111] ÖNORM B 3639-1. *Technische Asphalte für den Straßenbau und verwandte Gebiete - Prüfung - Schubverbund von Asphaltsschichten*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juli 1997.
- [112] ÖNORM B 3639-2. *Technische Asphalte für den Straßenbau und verwandte Gebiete - Prüfung - Haftverbund von Asphaltsschichten*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juli 1997.
- [113] RVS 11.06.61. *Ebenheitsmessungen*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, November 1995.
- [114] Haberl J.; Litzka J.; Renken P.; Lobach Th.; Dumont A.-G. und Rodriguez M. *Nutzungszeiten offener Asphaltdeckschichten*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 576, Wien, Österreich, Juni 2008.
- [115] <http://www.lfu.bayern.de/laerm/forschung-und-projekte/doc/2opa.pdf>.

- [116] Litzka J. und Haberl J. *Drainbeläge auf Autobahnen - Erfahrungen in Österreich*. Straßenbau-Tag Olten: Drainasphalt, Olten, Schweiz, März 2006.
- [117] Weßelborg H.-H. *Lärmtechnisch verbesserte Bauweisen - Offenporiger Asphalt*. VSVI-Seminar Oberflächeneigenschaften von Straßen, Krefeld, Deutschland, Februar 2008.
- [118] Livet J. *Le comportement hivernal spécifique des enrobes drainants*. IX. PIARC Straßenwinterdienstkongress, Seefeld, Österreich, 1994.
- [119] Litzka J.; Pracherstorfer W. und Vycudil A. *Beurteilung der Drainasphaltreinigung aus ökologischer und ökonomischer Sicht*. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 489, Wien, Österreich, 1999.
- [120] Roos R. und Holldorb Ch. *Erhaltung der Funktionen Lärminderung und Entwässerung offener Asphaltdecken*. Schlussbericht Forschungsauftrag FE 03.237 R90L des Bundesministeriums für Verkehr, Darmstadt, Deutschland, April 1997.
- [121] RVS 8S.01.41. *Technische Vertragsbedingungen - Baustoffe - Anforderungen an Asphaltmischgut*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, November 2004 (außer Kraft, ersetzt durch RVS 08.97.05).
- [122] ÖNORM EN 12697-6. *Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Dezember 2007.
- [123] ÖNORM B 3581. *Asphaltmischgut - Asphaltmischgut-Anforderungen, Asphaltbeton für sehr dünne Schichten*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Dezember 2009.
- [124] Sommer H. *Tendenzen im Betonstraßenbau*. Vortrag im Rahmen des Straßenbautechnischen Seminars des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, Wien, Österreich, 1992.
- [125] RVS 03.08.63. *Bautechnische Details - Oberbaubemessung*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, April 2008.
- [126] Steigenberger J. *Waschbetonoberfläche*. Konferenz Betonfahrbahnen 2002, Olomouce, Tschechische Republik, Oktober 2002.
- [127] ÖNORM B 4710-1. *Beton Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, April 2004.
- [128] ÖNORM B 3303. *Betonprüfung*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, September 2002.
- [129] ÖNORM EN 933-1. *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung - Siebverfahren*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Juli 2006.

- [130] RVS 11.06.42. *Beton - Nachbehandlungsmittel für Beton*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, Dezember 1985.
- [131] ÖNORM EN 13863-1. *Fahrbahnbefestigungen aus Beton - Teil 1: Prüfverfahren zur Dickenbestimmung einer Fahrbahnbefestigung aus Beton durch Vermessung*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich, Dezember 2003.
- [132] Haider M. *Lärmtechnisches Verhalten von Waschbetonoberflächen*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 588, Wien, Österreich, 2010.
- [133] <http://www.possehl.at/filestore/68/possehlepgribelag.pdf>.
- [134] <http://www.griproad.de/>.
- [135] EU-Projekt SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control). *Classification Scheme and COP-Method*. European Commission, Directorate General for Energy and Transport, Contract No. GRD2/2000/31801/S/2.335701, Deliverable D17, Brüssel, Belgien, 2005.
- [136] ISO 13473-3. *Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 3: Specification and classification of profilometers*. International Organisation for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 2002.
- [137] ISO/CD TS 13473-4. *Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 4: Spectral analysis of texture profiles*. International Organisation for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 2004.
- [138] ISO 13472-1. *Acoustics - Measurement of sound absorption properties of road surfaces in-situ - Part 1: Extended surface method*. International Organisation for Standardization (ISO), Genf, Schweiz, 2002.
- [139] Klein P. und Hamet J.-F. *Road texture and rolling noise. An envelopment procedure for tire/road contact*. Technical report LTE 0427, INRETS, Lyon, Frankreich, 2004.
- [140] Klein P. und Hamet J.-F. *Expected pass-by noise level difference from texture level variation of the road surface*. European Commission, Directorate General for Energy and Transport, Contract No. GRD2/2000/31801/S/2.335701, SILVIA Project Report INRETS-021-01-WP2-070705, Brüssel, Belgien, 2005.
- [141] Hamet J.-F. und Klein P. *Expected pass-by Noise level Reduction from acoustic absorption of the road surface*. European Commission, Directorate General for Energy and Transport, Contract No. GRD2/2000/31801/S/2.335701, SILVIA Project Report INRETS-018-02-WP2-040505, Brüssel, Belgien, 2005.
- [142] CEDR. *Noise management and abatement*. Conférence Européenne des Directeurs des Routes, CEDR report 2010/05, Paris, April, 2010.
- [143] Bartolomaeus W. *Review of current practice and prospects in European countries - Experiences in Germany*. Meeting on classification of road surface noise characteristics, Copenhagen, Dänemark, September 2008 (unpublished).

- [144] Verkehrslärmschutzverordnung 16. BImSchV. *Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 19.09.2006 (BGBl.I, Nr.44, S.2146), in Kraft getreten am 01.10.2006.* Bundesministerium der Justiz, Berlin, Deutschland, 2006.
- [145] Kephelopoulos S.; Anfosso-Lédée F.; Paviotti M.; Rhodes D. und Shilton S. *Draft JRC Reference Report on Common Noise Assessment methods in EU (CNOSSOS-EU).* European Commission, DG ENV and DG JRC, Brüssel, Belgien, 2010 (unpublished).
- [146] BBA-British Board of Agrément. *Guidlines Document for the assessment and certification of Thin Surfacing Systems for Highways.* British Board of Agrément (BBA), Watford, United Kingdom, 2008.
- [147] <http://www.highways.gov.uk/aboutus/10895.htm>.
- [148] CROW200. *De methode Cwegdek 2002 voor wegverkeersgeluid (Die Methode Cwegdek für Straßenverkehrslärm).* CROW-Publikation 200, ISBN 9066284013, Ede, Niederlande, April, 2004.
- [149] EU-Projekt SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control). *Delta Road Procedure - Examples.* European Commission, Directorate General for Energy and Transport, Contract No. GRD2/2000/31801/S/2.335701, WP-report, Brüssel, Belgien, 2005 (unpublished).
- [150] <http://www.stillerverkeer.nl/>.
- [151] Kragh J. *Noise Classification - Asphalt pavement.* Road Directorate, Danish Road Institute, Technical note 61, ISBN 978-87-92094-20-9, Hudehusene, Dänemark, 2007.
- [152] Weninger-Vycudil A.; Simanek P.; Rohringer Th. und Haberl J. *Handbuch - Pavement Management in Österreich 2009.* Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 584, Wien, August 2009.
- [153] Berengier M. *Overview of technologies and systems to detect pavement discontinuities including assessment of importance to noise reduction.* European Commission, Directorate General for Research, Contract No. 516288, Deliverable F.D7, Brüssel, Belgien, 2006.
- [154] Haider M.; Bendtsen H. und Berengier M. *Tools for acoustic monitoring and maintenance.* INTERNOISE 2007 proceedings, Wien, Österreich, 2010.
- [155] Bendtsen H. und Schmidt B. *Integration of noise in PM Systems - Pavement Management and noise.* Road Directorate, Danish Road Institute, Report 150, ISBN 978-87-91177-98-9, Hedehusene, Dänemark, 2007.
- [156] RVS 13.01.41. *Asphaltstraßen - Grundlagen für Zustands- und Maßnahmenbeurteilung.* Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, September 1998.

- [157] RVS 13.01.51. *Betonstraßen - Betondeckenerhaltung*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, September 2010.
- [158] RVS 13.01.11. *Pavement Management - Zustandsbeschreibung und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und Betonstraßen*. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Österreich, August 2009.
- [159] Weninger-Vycudil A. und Litzka J. *Handbuch - Bauliche Erhaltung kommunaler Straßen*. PMS-Consult Ingenieurbüro für Verkehrswesen und Infrastrukturplanung GmbH, Wien, 2010.

# TABELLENVERZEICHNIS

2.1	<i>Rechnerische Schallpegeldifferenzen bei Veränderung der Verkehrsstärke (nach [3]) . . . . .</i>	32
2.2	<i>Rechnerische Schallpegeldifferenzen (angegeben in <math>L_{A,eq}</math>) durch ein Lkw-Fahrverbot [3] . . . . .</i>	34
4.1	<i>Korrekturfaktor <math>\eta</math> gem. RVS 11.06.64 [76] . . . . .</i>	72
4.2	<i>Korrekturfaktor <math>\varepsilon</math> gem. RVS 11.06.64 [76] . . . . .</i>	72
4.3	<i>Referenzgeschwindigkeiten der drei Fahrzeugkategorien und zugehörige Verkehrszusammensetzung, angegeben durch die Bewertungsfaktoren <math>W_x</math> (nach [74]) . . . . .</i>	77
5.1	<i>Begriffsbestimmungen von (lärmmindernden) Fahrbahndeckschichten (nach [87]) . . . . .</i>	88
5.2	<i>Nachweis der Anforderungen an Fahrbahndeckschichten . . . . .</i>	89
5.3	<i>Anforderungen an die Sieblinien des Splittmastixasphaltes bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [104]) . . . . .</i>	96
5.4	<i>Anforderungen an das Asphaltmischgut von Splittmastixasphalt bei der Erstprüfung (Details siehe [104]) . . . . .</i>	98
5.5	<i>Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn beim Splittmastixasphalt [85] . . . . .</i>	98
5.6	<i>Anforderungen an die Asphaltenschicht von Splittmastixasphalt bei der Abnahmeprüfung (nach [85]) . . . . .</i>	99
5.7	<i>Anforderungen an den Hohlraumgehalt von Splittmastixasphalt (nach [85])</i>	99
5.8	<i>Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Splittmastixasphalt nach Fertigstellung (nach [85]) . . . . .</i>	100
5.9	<i>Zusammenhang von Größtkorndurchmesser und Mischgutttyp beim Asphaltbeton (nach [57]) . . . . .</i>	107
5.10	<i>Anforderungen an die Sieblinien des Asphaltbetons bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [57]) . . . . .</i>	107
5.11	<i>Anforderungen an das Asphaltmischgut von Asphaltbeton bei der Erstprüfung (Details siehe [57]) . . . . .</i>	109
5.12	<i>Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn beim Asphaltbeton AC deck, A1 bzw. AC deck, A2 [85] . . . . .</i>	110

5.13	Anforderungen an die Asphaltenschicht von Asphaltbeton AC deck, A1 bzw. AC deck, A2 bei der Abnahmeprüfung (nach [85]) . . . . .	110
5.14	Anforderungen an den Hohlraumgehalt von Asphaltbeton AC deck (nach [85])	111
5.15	Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Asphaltbeton AC deck nach Fertigstellung (nach [85]) . . . . .	111
5.16	Anforderungen an die Sieblinien des offenporigen Asphalt mit Größtkorn 8 mm bzw. 11 mm bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [56]) . . . . .	121
5.17	Anforderungen an die Sieblinien des offenporigen Asphalt mit Größtkorn 16 mm bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [56]) . . . . .	122
5.18	Anforderungen an das Asphaltmischgut von offenporigem Asphalt bei der Erstprüfung (Details siehe [56]) . . . . .	123
5.19	Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn beim offenporigen Asphalt [85] . . . . .	124
5.20	Anforderungen an die Asphaltenschicht von offenporigem Asphalt bei der Abnahmeprüfung (nach [85]) . . . . .	125
5.21	Anforderungen an den Hohlraumgehalt von offenporigem Asphalt (nach [85])	125
5.22	Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von offenporigem Asphalt nach Fertigstellung (nach [85]) . . . . .	126
5.23	Anforderungen an die Sieblinien des lärm mindernden Splittmastixasphaltes bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [104]) . . . . .	132
5.24	Anforderungen an das Asphaltmischgut von lärm minderndem Splittmastixasphalt bei der Erstprüfung (Details siehe [104]) . . . . .	133
5.25	Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn beim lärm mindernden Splittmastixasphalt [85] . . . . .	134
5.26	Anforderungen an die Asphaltenschicht von lärm minderndem Splittmastixasphalt bei der Abnahmeprüfung (nach [85]) . . . . .	135
5.27	Anforderungen an den Hohlraumgehalt von lärm minderndem Splittmastixasphalt (nach [85]) . . . . .	135
5.28	Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Splittmastixasphalt nach Fertigstellung (nach [85]) . . . . .	136
5.29	Anforderungen an die Sieblinien von lärm mindernden Dünnschichtdecken bei der Erstprüfung [M.-%] (nach [123]) . . . . .	142
5.30	Anforderungen an das Asphaltmischgut von lärm mindernden Dünnschichtdecken bei der Erstprüfung (Details siehe [123]) . . . . .	143
5.31	Zusammenhang zwischen Schichtdicke und Größtkorn für lärm mindernde Dünnschichtdecken [85] . . . . .	144
5.32	Anforderungen an die Asphaltenschicht von lärm mindernden Dünnschichtdecken bei der Abnahmeprüfung (nach [85]) . . . . .	144

5.33	<i>Anforderungen an den Hohlraumgehalt von lärmindernden Dünnschichtdecken (nach [85])</i> . . . . .	144
5.34	<i>Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von lärmindernden Dünnschichtdecken nach Fertigstellung (nach [85])</i> . . . . .	145
5.35	<i>Anforderungen an den Rollgeräuschpegel des Waschbetons bei der Abnahmeprüfung ermittelt gem. RVS 11.06.64 (nach [98])</i> . . . . .	152
5.36	<i>Anforderungen an Waschbetondecken bei der Abnahmeprüfung (nach [98])</i>	153
5.37	<i>Anforderungen an die Spaltzugfestigkeit des Waschbetons ermittelt gem. ÖNORM B 3303 (nach [98])</i> . . . . .	153
5.38	<i>Anforderungen an die Luftporenkennwerte des Waschbetons ermittelt gem. ÖNORM B 3303 (nach [98])</i> . . . . .	154
6.1	<i>Vorgeschlagene Messmethoden bei der akustischen Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten im EU-Projekt SILVIA [135]</i> . . . . .	169
6.2	<i>Toleranzen zum Nachweis der Homogenität der Teststrecke [135]</i> . . . . .	171
6.3	<i>Toleranzen zum Nachweis der Homogenität der Labelling-Strecke [135]</i> . . . . .	172
6.4	<i>Toleranzen zum Nachweis der Homogenität der Textur an der Teststrecke [135]</i> . . . . .	176
6.5	<i>Toleranzen zum Nachweis der Homogenität der Messstrecke für die Vorbeifahrtmessungen [135]</i> . . . . .	177
6.6	<i>Vorgeschlagene Messmethoden bei der akustischen Qualitätskontrolle von Fahrbahndeckschichten im EU-Projekt SILVIA [135]</i> . . . . .	179
6.7	<i>Definition der Referenzgeschwindigkeiten der drei Fahrzeugkategorien (nach [146])</i> . . . . .	186
6.8	<i>Referenzwerte und Regressionskoeffizienten für die Referenzfahrbahndeckschicht in den Niederlanden [149]</i> . . . . .	189
6.9	<i>Definition der Referenzfahrbahndeckschicht (nach [151])</i> . . . . .	193
6.10	<i>Einteilung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten in Lärmklassen (nach [151])</i> . . . . .	193
6.11	<i>Vergleich der untersuchten akustischen Bewertungssysteme lärmindernder Fahrbahndeckschichten anhand definierter Anforderungen</i> . . . . .	196
7.1	<i>Definition der Referenzgeschwindigkeiten bei Ausführung der Rollgeräuschmessungen im Rahmen der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten</i>	198
7.2	<i>Grundwerte der Referenzfahrbahndeckschicht bei der akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	199
7.3	<i>Definition der 4 Lärmklassen (inklusive der Referenz) bei der akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	203
7.4	<i>Bewertung des Oberflächenzustandes - Ebenheit in Quer- und Längsrichtung [159]</i> . . . . .	222

---

7.5	<i>Zustandsklassen des Oberflächenzustandes von Fahrbahndeckschichten</i>	. . . 222
7.6	<i>Bewertung des Oberflächenzustandes - Risse und andere strukturelle Schäden</i> [159]	. . . . . 223
8.1	<i>Zusammenfassende Analyse der durchgeführten akustischen Bewertung von</i> <i>lärmmindernden Fahrbahndeckschichttypen (inkl. Asphaltbeton)</i>	. . . . . 247

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

2.1	<i>Schallausbreitung in der Luft [2]</i> . . . . .	9
2.2	<i>Summenpegel mehrerer gleich lauter Schallquellen [3]</i> . . . . .	10
2.3	<i>Summenpegel zweier Schallquellen [3]</i> . . . . .	10
2.4	<i>Kurven gleicher Lautstärke im freien Schallfeld (nach [5])</i> . . . . .	11
2.5	<i>International festgelegte Frequenzbewertungskurven [2]</i> . . . . .	12
2.6	<i>Schallpegelverlauf mehrerer Pkw-Vorbeifahrten an einer Bezugsstelle (nach [3])</i> . . . . .	12
2.7	<i>Einfluss von Reifen-Fahrbahn- Geräusch und Motorgeräusch eines Pkw's auf das Gesamtschallereignis (nach [18])</i> . . . . .	16
2.8	<i>Mechanische Schwingungsanregung eines Reifenprofilklotzes am rollenden Reifen (nach [19])</i> . . . . .	17
2.9	<i>Aerodynamische Schwingungsanregung des Reifens, Air-Pumping- Effekt und Resonanzerscheinungen (nach [20])</i> . . . . .	18
2.10	<i>Horn- Effekt zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche [19]</i> . . . . .	18
2.11	<i>Einflussparameter auf das Reifen-Fahrbahn- Geräusch</i> . . . . .	19
2.12	<i>Vergleich der Rollgeräuschpegel von Pkw- Reifen (Minimum, Mittelwert, Maximum) [25] mit den Grenzwerten der EU- Reifenrichtlinie (als blaue Linie) in Abhängigkeit der Reifenbreite (SO – Sommerreifen, WI – Winterreifen) [26]</i> 21	21
2.13	<i>Beispiel für die abgeschätzte Kontaktfläche zwischen Slick- Reifen und Fahrbahndeckschicht bei offenporigen und bei dichten Deckschichten (nach [27])</i> 22	22
2.14	<i>Kontaktfläche zwischen einem Slick- Reifen und dichten bzw. offenporigen Fahrbahndeckschichten im Vergleich zum Rollgeräuschpegel CPXI bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h (nach [29])</i> . . . . .	23
2.15	<i>Einfluss des Größtkorndurchmessers einer Fahrbahndeckschicht auf ihr Geräuschverhalten (nach [29])</i> . . . . .	24
2.16	<i>Einfluss des Größtkornes auf das Vorbeifahrtgeräusch eines Pkw's bei Splittmastixasphalten (nach [1] bzw. [29])</i> . . . . .	24
2.17	<i>Darstellung eines Oberflächenprofils (nach [31])</i> . . . . .	25
2.18	<i>Darstellung von Mega-, Makro- und Mikrotextrur (nach [30])</i> . . . . .	25
2.19	<i>Einfluss der Textur auf die Gebrauchseigenschaften Griffigkeit und Reifen-Fahrbahn- Geräusch einer Fahrbahnoberfläche (nach [36])</i> . . . . .	26

2.20	<i>Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und Vorbeifahrtpegel an verschiedenen Fahrbahndeckschichten (nach [29])</i> . . . . .	27
2.21	<i>Temperatureinfluss auf das Schallereignis einer Vorbeifahrt (gem. [23])</i> . . .	29
2.22	<i>Einfluss der Geschwindigkeit auf den maximalen Vorbeifahrtpegel von Personenkraftwagen (gem. [38])</i> . . . . .	30
2.23	<i>Einfluss der Verkehrsstärke auf den Straßenverkehrslärm [39]</i> . . . . .	32
2.24	<i>Anteil der einzelnen Schallquellen am Gesamtgeräusch eines Pkw bzw. Lkw [40]</i> . . . . .	33
2.25	<i>Einfluss von Beschleunigungsvorgängen auf das Vorbeifahrtgeräusch von Lkw's an einer Teststrecke mit Splittmastixasphalt (Auswertung der Daten aus [45])</i> . . . . .	35
2.26	<i>Kennwerte für den Einfluss der Straßenlängsneigung [9]</i> . . . . .	36
2.27	<i>Einfluss von Steigung/Gefälle und Fahrgeschwindigkeit auf den maximalen Vorbeifahrtpegel bei Pkw bzw. Lkw (nach [47])</i> . . . . .	36
2.28	<i>Einfluss von Tempo 30- Zonen auf das Vorbeifahrtgeräusch von Pkw (nach [48])</i> . . . . .	37
2.29	<i>Einfluss von topographischen Gegebenheiten (Abstand von der Schallquelle, Luftabsorption und absorbierende Bodendämpfung) auf das Vorbeifahrtgeräusch (nach [9])</i> . . . . .	39
3.1	<i>Lärmreduktionsmaßnahmen eingeteilt in ihre Wirkungsweisen</i> . . . . .	41
3.2	<i>Lärminderungspotenzial alternativer Antriebssysteme [50]</i> . . . . .	42
3.3	<i>Vorbeifahrtpegel von Pkw- Reifen verschiedener Reifenbreite bei konstanter Vorbeifahrt auf Asphaltbeton, gemessene Geschwindigkeiten: 50 km/h und 80 km/h (nach [47])</i> . . . . .	43
3.4	<i>Vorbeifahrtpegel von Pkw- Reifen verschiedener Reifendurchmesser bei konstanter Vorbeifahrt auf Asphaltbeton, gemessene Geschwindigkeit: 80 km/h (nach [47])</i> . . . . .	44
3.5	<i>Profilbilder der Forschungsreifen mit der Reifendimension 195/65 R15 91H [44]</i> . . . . .	45
3.6	<i>Maximaler Schalldruckpegel der Versuchsreifen mit Variation der Klotzsteifigkeit (SK1 - SK8) und des Referenzreifens S0 beim Rollen mit 80 km/h auf 6 verschiedenen Fahrbahndeckschichten (nach [44])</i> . . . . .	46
3.7	<i>Vorbeifahrtgeräuschdifferenz zwischen beladenem und unbeladenem Lastkraftwagen, Rollen mit 80 km/h auf 6 verschiedenen Fahrbahndeckschichten (nach [14])</i> . . . . .	47
3.8	<i>Unterschiedliche Oberflächenausbildungen von Fahrbahndeckschichten [34]</i>	48
3.9	<i>Definition des Gestaltfaktors g [20]</i> . . . . .	49
3.10	<i>Vergleich der Grenzsieblinien von AC 11 deck, A2 und PA 11, P2 gemäß den zugehörigen ÖNORMEN (nach [56] bzw. [57])</i> . . . . .	51

3.11	<i>Beispiele für den Absorptionskoeffizienten offenporiger Fahrbahndeckschichten im Vergleich zu einer dichten Fahrbahndeckschicht (nach [29]) . . . . .</i>	52
3.12	<i>Frequenzspektren des Reifen-Fahrbahn- Geräusches an verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen (nach [29]) . . . . .</i>	52
3.13	<i>Einfluss von Schichtdicke, Hohlraumgehalt und Strömungswiderstand auf den Absorptionskoeffizienten offenporiger Fahrbahndeckschichten [20] . . .</i>	53
3.14	<i>Schallausbreitung und -beugung über eine Lärmschutzwand [58] . . . . .</i>	54
3.15	<i>Beispiele für Lärmschutzwände aus Aluminium [10] . . . . .</i>	55
3.16	<i>Beispiele für Lärmschutzwände aus Holz [10] . . . . .</i>	55
3.17	<i>Beispiele für Lärmschutzwände aus Beton [10] . . . . .</i>	56
3.18	<i>Beispiele für Lärmschutzwände aus gefüllten Stahlkörben [10] . . . . .</i>	56
3.19	<i>Beispiele für transparente Lärmschutzwände [10] . . . . .</i>	56
3.20	<i>Modell und Ausführung einer gekrümmten Lärmschutzwand (SRS – Sound Reducing System) [60] . . . . .</i>	57
3.21	<i>Vergleich der Schallpegelminderung einer geraden mit einer gekrümmten Lärmschutzwand [60] . . . . .</i>	57
3.22	<i>Lärmpegelreduktion eines gekrümmten Aufsatzelementes im Vergleich zu einer geraden Lärmschutzwand gleicher Höhe [61] . . . . .</i>	58
3.23	<i>Wirkungsweise eines T- Profiles im Vergleich zu einer geraden Lärmschutzwand [62] . . . . .</i>	58
3.24	<i>Höhe eines Lärmschutzwalles im Vergleich zu einer wirkungsgleichen Lärmschutzwand [64] . . . . .</i>	58
3.25	<i>Beispiel eines Lärmschutzwalles mit Bepflanzung . . . . .</i>	59
3.26	<i>Animation einer Teileinhausung an der A10 - Tauern Autobahn (Galerie Eben) [65] . . . . .</i>	59
3.27	<i>Einfluss der Einhausungslänge auf die zu mindernde Schallpegelausbreitung [65] . . . . .</i>	60
3.28	<i>Zusammenhang zwischen Aussen- und Innenpegel unter Berücksichtigung verschiedener Fenstertypen [10] . . . . .</i>	60
3.29	<i>Wohnhausseitige Lärmschutzwand an der A1 - West Autobahn [65] . . . .</i>	61
3.30	<i>Beispiele der Straßenraumgestaltung in den drei dänischen Städten Vinde-rup, Skærbæk and Ugerløse [68] . . . . .</i>	63
3.31	<i>Beispiele von Fahrbahnschwellen in Gloucester - Großbritannien [69] . . .</i>	63
3.32	<i>Untersuchte Kreuzung vor und nach der Implementierung des Kreisverkehrs [70] . . . . .</i>	64
3.33	<i>Schwerverkehrsverteilung vor und nach Einführung eines Lkw- Fahrverbotes [73] . . . . .</i>	65
3.34	<i>Schematische Darstellung der multifunktionellen Lärmschutzanlage in Gleis-dorf [10] . . . . .</i>	65

4.1	<i>Unterschiedliche Messsysteme zur Bestimmung des Rollgeräuschpegels . . .</i>	68
4.2	<i>Prüfanordnung lt. RVS 11.06.64 [76] . . . . .</i>	69
4.3	<i>Anordnung der Mikrofone im Rollgeräusch-Messanhänger von “AIT“ . . .</i>	70
4.4	<i>Beispiel eines österr. Rollgeräuschmessanhängers und Detail des zugehörigen Messreifens (Photos: IFS Ziviltechniker Ges.m.b.H) . . . . .</i>	70
4.5	<i>Beispiel der in Österreich verwendeten CPX- Testreifen (Photo: IFS Zivil- techniker Ges.m.b.H) . . . . .</i>	73
4.6	<i>Prinzipdarstellung der Mikrofonpositionen nach ISO/CD 11819-2 [28] . . .</i>	73
4.7	<i>Schematische Darstellung des Messplatzes gem. ISO 11819-1 (nach [74]) . .</i>	75
4.8	<i>Beispiel für eine gültige Vorbeifahrtmessung gem. ISO 11819-1 . . . . .</i>	76
4.9	<i>Beispiel für eine ungültige Vorbeifahrtmessung gem. ISO 11819-1 . . . . .</i>	76
4.10	<i>Prinzipskizze des Ausflussmessgeräts (nach [77]) . . . . .</i>	79
4.11	<i>Messeinrichtung zur Bestimmung der Ausflusszeit . . . . .</i>	80
4.12	<i>Schematische Darstellung der Messstellen für die Messung des Drainverhaltens</i>	80
4.13	<i>Schematische Darstellung der Messstellen für die Messung des Drainverhal- tens einer offenporigen Fahrbahndeckschicht . . . . .</i>	81
4.14	<i>Beispiel für die Anordnung der Messpunkte für die Messung des Drainver- haltens einer offenporigen Fahrbahndeckschicht . . . . .</i>	81
4.15	<i>Messanordnung für eine gültige Messung des Schallabsorptionsgrades (gem. [78]) . . . . .</i>	82
4.16	<i>Messsystem RoadSTAR zur Messung der Oberflächentextur [79] . . . . .</i>	84
5.1	<i>Schematische Darstellung der Merkmal-Bandbreite bzw. der Merkmal- Kategorie (nach [92]) . . . . .</i>	90
5.2	<i>Abschätzung des Anteils der lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen am österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz (nach [81] und [101])</i>	92
5.3	<i>Übersicht der gängigen lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen . . . .</i>	93
5.4	<i>Vergleich des Aufbaues von Asphaltbeton und Splittmastixasphalt (nach [102]) . . . . .</i>	94
5.5	<i>Oberfläche eines Splittmastixasphaltes mit Größtkorn 11 mm . . . . .</i>	95
5.6	<i>Grenzsieblinien für den Splittmastixasphalt SMA 11 (nach ÖNORM B 3584- 1 [104]) . . . . .</i>	97
5.7	<i>Grenzsieblinien für den Splittmastixasphalt SMA 8 (nach ÖNORM B 3584-1 [104]) . . . . .</i>	97
5.8	<i>Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand (Daten aus [29]) . . . .</i>	101
5.9	<i>Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 an sonstigen Freilandstraßen im Neuzustand (Daten aus [29]) . . . . .</i>	102

5.10	<i>Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 an Stadtstraßen im Neuzustand (Daten aus [29]) . . . . .</i>	102
5.11	<i>CPX- Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 im Neuzustand (Daten aus [29]) . . . . .</i>	103
5.12	<i>CPX- Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 nach 5 Jahren Liegedauer (Daten aus [29]) . . . . .</i>	104
5.13	<i>CPX- Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S2 nach 10 Jahren Liegedauer (Daten aus [29]) . . . . .</i>	105
5.14	<i>Oberfläche eines Asphaltbetones mit Größtkorn 11 mm . . . . .</i>	106
5.15	<i>Grenzsieblinien für den Asphaltbeton AC 11 deck (nach ÖNORM B 3580-1 [57]), SMA 11, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt . . . . .</i>	108
5.16	<i>Grenzsieblinien für den Asphaltbeton AC 8 deck (nach ÖNORM B 3580-1 [57]), SMA 8, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt . . . . .</i>	108
5.17	<i>Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp AC 11 deck, A2 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) .</i>	112
5.18	<i>CPX- Index der drei Straßenkategorien “A+S“, “sonstige Freilandstraßen“ und “Stadtstraßen“ für den Fahrbahndeckschichttyp AC 11 deck, A2 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . . . . .</i>	113
5.19	<i>Schematische Darstellung des Aufbaues und der entwässernden Wirkung von Asphaltbeton und offenporigem Asphalt (nach [114]) . . . . .</i>	114
5.20	<i>Oberfläche eines offenporigen Asphalttes mit Größtkorn 11 mm . . . . .</i>	115
5.21	<i>Aufbauarten von offenporigen Asphaltdeckschichten [115] . . . . .</i>	116
5.22	<i>Reduktion der Sprühhahnenbildung bei der offenporigen im Vergleich zur dichten Fahrbahndeckschichtbauweise (nach [117]) . . . . .</i>	117
5.23	<i>Mittlere monatliche Oberflächentemperatur offenporiger und dichter Asphaltdeckschichtsysteme im Vergleich mit der Lufttemperatur (nach [118])</i>	117
5.24	<i>Beispiele für Kornausbrüche an offenporigen Asphaltdeckschichten . . . . .</i>	118
5.25	<i>Beispiel für mechanische Schäden an offenporigen Asphaltdeckschichten durch Radfolgen [114] . . . . .</i>	120
5.26	<i>Grenzsieblinien für den offenporigen Asphalt PA 11 (nach ÖNORM B 3586-1 [56]), SMA 11, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt . . . . .</i>	122
5.27	<i>Grenzsieblinien für den offenporigen Asphalt PA 8 (nach ÖNORM B 3586-1 [56]), SMA 8, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt . . . . .</i>	123

- 5.28 Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp PA 11, P2 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . 127
- 5.29 Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp DLPA 8/16, P2 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . 128
- 5.30 CPX- Index der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" für den Fahrbahndeckschichttyp PA 11, P2 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . . . . . 129
- 5.31 CPX- Index der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" für den Fahrbahndeckschichttyp DLPA 8/16, P2 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . . . . . 130
- 5.32 Oberfläche eines lärm mindernden Splittmastixasphaltes mit Größtkorn 11 mm 131
- 5.33 Grenzsieblinien für den lärm mindernden Splittmastixasphalt SMA 8, S3 (nach ÖNORM B 3584-1 [104]), SMA 8, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt 132
- 5.34 Grenzsieblinien für den lärm mindernden Splittmastixasphalt SMA 11, S3 (nach ÖNORM B 3584-1 [104]), SMA 11, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt . . . . . 133
- 5.35 Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . 137
- 5.36 Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S3 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . 138
- 5.37 CPX- Index der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 8, S3 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . . . . . 139
- 5.38 CPX- Index der beiden Straßenkategorien "A+S" und "sonstige Freilandstraßen" für den Fahrbahndeckschichttyp SMA 11, S3 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . . . . . 140
- 5.39 Oberfläche einer lärm mindernden Dünnschichtdecke mit Größtkorn 8 mm . 141
- 5.40 Grenzsieblinien für die lärm mindernden Dünnschichtdecken BBTM 5A und BBTM 8B (nach ÖNORM B 3581 [123]), SMA 8, S2 in grauer Farbe strichliert dargestellt . . . . . 142
- 5.41 Vorbeifahrtpegel und SPB- Index für den Fahrbahndeckschichttyp BBTM 8B an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29]) . 146

5.42	<i>CPX-Index der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" für den Fahrbahndeckschichttyp BBTM 8B im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])</i> . . . . .	147
5.43	<i>Beispiel für ein Setzgerät zum Einbau von Dübel</i> . . . . .	149
5.44	<i>Beispiel eines Gleitschalungsfertigers für den Einbau einer Betondecke</i> . . .	149
5.45	<i>Aufbringen eines Kontaktverzögerers auf den Oberbeton</i> . . . . .	150
5.46	<i>Oberfläche eines Waschbetons mit Größtkorn 11 mm</i> . . . . .	150
5.47	<i>Vorbeifahrtpegel und SPB-Index für den Fahrbahndeckschichttyp EACC GK 11 an Autobahnen und Schnellstraßen im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])</i> .	155
5.48	<i>CPX-Index der drei Straßenkategorien "A+S", "sonstige Freilandstraßen" und "Stadtstraßen" für den Fahrbahndeckschichttyp EACC GK 11 im Neuzustand - im Vergleich zur Referenzfahrbahndeckschicht SMA 11, S2 in grauer Farbe (Daten aus [29])</i> . . . . .	156
5.49	<i>Beispiel für eine Oberflächenbehandlung auf Epoxidharzbasis (EP-GRIP) [133]</i> . . . . .	157
5.50	<i>SPBI (Vorbeifahrtindex) unterschiedlicher Fahrbahndeckschichttypen im Neuzustand - direkt nach Deckschichtlegung (Daten aus [29])</i> . . . . .	158
5.51	<i>Lärmminderungspotenzial unterschiedlicher Fahrbahndeckschichttypen im Vergleich zu einem SMA 11 im Neuzustand - direkt nach Deckschichtlegung (Daten aus [29])</i> . . . . .	159
5.52	<i>Zeitreihen verschiedener österreichischer Fahrbahndeckschichttypen, Auswertungen von Rollgeräuschmessungen gem. ISO/CD 11819-2 bei einer Messgeschwindigkeit von 100 km/h nach dem CPX-Index, die schräg strichlierten Balken - für DLPA 8/16 ab einer Liegedauer von 7 Jahren, für SMA 8, S3 für eine Liegedauer &gt; 10 Jahre - stellen Abschätzungen dar (Daten aus [29])</i> . . . . .	160
5.53	<i>Erhöhung des CPX-Indexes während der Liegedauer der in Abbildung 5.52 betrachteten Fahrbahndeckschichttypen im Vergleich zum jeweiligen Neuzustand, die schräg strichlierten Balken - für DLPA 8/16 ab einer Liegedauer von 7 Jahren, für SMA 8, S3 für eine Liegedauer &gt; 10 Jahre - stellen Abschätzungen dar (Daten aus [29])</i> . . . . .	161
6.1	<i>Schema der Vorgehensweise bei der akustischen Bewertung von Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	164
6.2	<i>Definition der Teststrecke für die Durchführung von Vorbeifahrtmessungen (SPB) bzw. Rollgeräuschmessungen (CPX) [135]</i> . . . . .	169
6.3	<i>Vorgehensweise zur Ermittlung der LABEL1- Werte im EU-Projekt SILVIA [135]</i> . . . . .	170

6.4	<i>Definition der Teststrecke für die Durchführung der statischen Messungen der LABEL2-Prozedur [135]</i> . . . . .	173
6.5	<i>Vorgehensweise bei der Ermittlung der LABEL2- Werte im EU-Projekt SILVIA (Teil 1) [135]</i> . . . . .	174
6.6	<i>Vorgehensweise bei der Ermittlung der LABEL2- Werte im EU-Projekt SILVIA (Teil 2) [135]</i> . . . . .	175
6.7	<i>Betrachtete Strecke bei der akustischen Qualitätskontrolle von Fahrbahndeckschichten des EU-Projektes SILVIA [135]</i> . . . . .	179
6.8	<i>Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle der LABEL1- Werte im EU-Projekt SILVIA [135]</i> . . . . .	180
6.9	<i>Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle der LABEL2- Werte im EU-Projekt SILVIA (Teil 1) [135]</i> . . . . .	182
6.10	<i>Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätskontrolle der LABEL2- Werte im EU-Projekt SILVIA (Teil 2) [135]</i> . . . . .	183
6.11	<i>Beispiel für die Einschränkung des Geschwindigkeitsbereiches bei der akustischen Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht [149]</i> . . . . .	190
6.12	<i>Rollgeräuschemessanhänger des Danish Road Institutes [151]</i> . . . . .	192
6.13	<i>Messergebnisse des Danish Road Institute [151]</i> . . . . .	193
6.14	<i>Formular zur akustischen Klassifizierung für lärmindernde Fahrbahndeckschichten in Dänemark [151]</i> . . . . .	194
7.1	<i>Schematischer Vergleich des gegenwärtigen Ablaufes einer akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten mit dem des entwickelten Bewertungssystems</i> . . . . .	202
7.2	<i>Schematische Darstellung der akustischen Klassifizierung einer Fahrbahndeckschicht (einer speziellen Deckschichtrezeptur)</i> . . . . .	205
7.3	<i>Ablaufdiagramm der akustischen Klassifizierung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten (Teil 1 - Auswahl der Messstrecke)</i> . . . . .	206
7.4	<i>Schematische Darstellung der Messstrecke innerhalb der Teststrecke</i> . . . . .	207
7.5	<i>Ablaufdiagramm der akustischen Klassifizierung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten (Teil 2 - Bestimmung der Lärmklasse)</i> . . . . .	210
7.6	<i>Schematische Darstellung der akustischen Qualitätskontrolle einer Fahrbahndeckschicht</i> . . . . .	214
7.7	<i>Ablaufdiagramm für die akustische Qualitätskontrolle von bereits klassifizierten Fahrbahndeckschichten</i> . . . . .	215
7.8	<i>Schematische Darstellung des akustischen Monitorings einer Fahrbahndeckschicht</i> . . . . .	218
7.9	<i>Ablaufdiagramm für das akustische Monitoring einer nach einer Liegedauer von 5 Jahren akustisch bewerteten Fahrbahndeckschicht</i> . . . . .	224

7.10	<i>Ablaufdiagramm für das akustische Monitoring für eine Fahrbahndeckschicht mit einer abgeschätzten Lärmklasse nach einer Liegedauer von 5 Jahren</i>	227
7.11	<i>Formular der akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten (1/3)</i>	231
7.12	<i>Formular der akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten (2/3)</i>	232
7.13	<i>Formular der akustischen Bewertung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten (3/3)</i>	233
8.1	<i>Abgeschätzte Deckschichtstatistik im ASFINAG- Straßennetz (Stand: 2009)</i>	234
8.2	<i>Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps AC 11 deck, A2</i>	238
8.3	<i>Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps PA 11, P2</i>	239
8.4	<i>Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps DLPA 8/16, P2</i>	241
8.5	<i>Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps SMA 8, S3</i>	242
8.6	<i>Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps SMA 11, S3</i>	244
8.7	<i>Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps BBTM 8B</i>	245
8.8	<i>Akustische Bewertung des Fahrbahndeckschichttyps EACC GK 11</i>	247
8.9	<i>Akustische Bewertung der analysierten Fahrbahndeckschichttypen im Neuzustand</i>	248
8.10	<i>Akustische Bewertung der analysierten Fahrbahndeckschichttypen nach 5 Jahren Liegedauer</i>	248
8.11	<i>Akustische Bewertung der analysierten Fahrbahndeckschichttypen nach 10 Jahren Liegedauer</i>	248