

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Bautechnische Maßnahmen zur Reduktion des Straßenverkehrslärms

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-
Ingenieurs unter der Leitung von

o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Dr.h.c. Johann Litzka
Dipl.-Ing. Jürgen Haberl

Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung,

eingereicht an der Technischen Universität Wien,
Fakultät für Bauingenieurwesen,
von

Bozhana Mihaylova
E610/O227085
Studentski grad 34B, Sofia 1700

Wien, im Jänner 2008

Bautechnische Maßnahmen zur Reduktion des Straßenverkehrslärms

Kurzfassung

Lärm, im Besonderen Straßenverkehrslärm, hat sich in den letzten Jahren zu einem nicht zu unterschätzenden Umweltproblem entwickelt. Das Streben nach Verminderung der hohen Lärmbelastung im Straßennahbereich führte zu Untersuchungen von verschiedenen Lösungsmöglichkeiten.

In Rahmen dieser Arbeit werden zwei Methoden zur Erfassung der Lärmemissionen und -immissionen im Detail erklärt (siehe Kapitel 3). Weiters werden im Kapitel 4 die verschiedenen Lärmreduktionsmaßnahmen erläutert und auch ihre Wirkungsweisen beschrieben. Die erste Hauptgruppe beschäftigt sich mit der Verminderung der Lärmemissionen direkt am Entstehungsort und umfasst hauptsächlich die Lärmreduktion durch die Anwendung von lärmmindernden Fahrbahndeckschichten. Die zweite Hauptgruppe besteht aus Lärmschutzeinrichtungen (Lärmschutzwände und -wälle, sowie Einhausungen), die durch einen gewissen Abschirmungseffekt die Lärmimmissionen reduzieren.

Im zweiten Teil der Arbeit wird eine Untersuchung von fünf unterschiedlichen Fahrbahndeckschichttypen (Waschbeton (WB), Asphaltbeton (AB), Splittmastixasphalt (SMA), lärmmindernder Splittmastixasphalt (LSMA) und Drainasphalt (DA)) in Bezug auf ihr Lärmreduktionspotenzial durchgeführt. Die Untersuchung wird für ein bestimmtes Geländemodell (siehe Kapitel 5) und mit Hilfe der Software SoundPLAN durchgeführt. Aus der Auswertung der Ergebnisse (Kapitel 6) kann geschlossen werden, dass der Waschbeton, der Splittmastixasphalt und der Asphaltbeton nicht ausreichenden Lärmschutz für die untersuchte Siedlung im ausgewählten Geländemodell entwickeln können. Aufgrund dessen wird für die drei Deckschichten eine weitere Untersuchung mit dem zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand mittels SoundPLAN durchgeführt.

Schließlich wird ein Vergleich der Einbau- und Erneuerungskosten zwischen den Deckschichttypen DA und SMA mit einem zusätzlichen Einsatz einer optimierten Lärmschutzwand für den Beurteilungszeitraum von 30 Jahren durchgeführt (Kapitel 7). Dabei stellte sich heraus, dass der DA einen geringeren Kostenaufwand aufweist als der SMA zusammen mit der Lärmschutzwand für den untersuchten Zeitraum.

Technical measures to reduce road traffic noise

Summary

Noise, especially traffic noise, has been evolving in the last few years into a big environmental problem. The seeking for reduction potentials of the high noise load of road traffic leads to the exploring of different kinds of solutions.

In the frame of this work two methods for measuring noise emissions and immissions have been explained in detail (see chapter 3). Furthermore chapter 4 describes the different kinds of noise reducing means and their way of acting. The first main group deals with reduction of noise emissions direct on the noise source and includes basically the application of noise reducing pavements. The second main group consists of noise reducing barriers (walls, embankments and tunnels), which decrease the noise immissions.

Next, in the second part of the work, an investigation of five different kinds of pavements (exposed aggregate cement concrete, asphalt concrete, stone mastic asphalt, noise reducing stone mastic asphalt and porous asphalt) with regard to their noise reducing potential follows. The study was made with the help of the Software SoundPLAN and on a certain terrain model, which is introduced in chapter 5. From the obtained analysis (chapter 6) one can conclude that the exposed aggregate cement concrete, the asphalt concrete and the stone mastic asphalt do not show enough noise reducing potential towards the investigated settlement in the terrain model. On the basis of that an additional application of a noise barrier has been made for the three different kinds of pavements. This investigation within the software program SoundPLAN was connected with an optimization of the noise barrier height.

At last a comparison between the porous asphalt and the stone mastic asphalt layers together with a defined noise barrier had been done with regard to their construction costs and renewing costs for an investigation time of 30 years (chapter 7). It was obtained that the porous asphalt pavement showed smaller cost needs than the stone mastic asphalt pavement with the combination of a noise barrier within the 30 years investigation time.

Строително-технически мерки за намаляване шума от автомобилния транспорт

Резюме

През последните години шумът, особено шумът от автомобилния трафик, се развива в един сериозен проблем за околната среда. Стремещт към намаляване на високите шумови натоварвания в близост до улиците довежда до множество експерименти и различни възможни решения.

В рамките на тази дипломна работа са разгледани детайлно два метода за измерване на шумовите емисии и имисии (виж глава 3). По нататък, в глава 4 са изложени различните мерки за намаляване на шума, а също така са описани и техните начини на въздействие.

Първата основна група се характеризира с намаляване на шумовите емисии директно на мястото на възникване на шума и обхваща предимно употребата на шуморедуциращи пътни настилки.

Втората група се състои от шумопредпазни съоръжения (шумопредпазни стени, насипи и тунели), които чрез определен ефект на преграждане, намаляват шумовите имисии.

Във втората част на работата се провежда изследване на пет различни вида пътни настилки от бетон (тип "мит бетон"), асфалтобетон, сплит мастик асфалт, шуморедуциращ сплит мастик асфалт и порест асфалт във връзка с тяхната възможност за намаляване на шумовото натоварване от автомобилния транспорт. Изследването се извършва върху определен топографски терен (виж глава 5) и с помощта на софтуерна програма SoundPLAN. От анализът на резултатите (глава 6) може да бъде заключено, че настилките от бетон (тип "мит бетон"), асфалтобетон, и сплит мастик асфалт не успяват да развият достатъчна защита от шум към селището в избрания географски модел. Въз основа на това, по нататък в работата се извършва друго изследване на трите настилки с допълнителната употреба на шумопредпазна стена. Изследването е свързано с оптимизация на височината на стената и отново се извършва с програмата SoundPLAN.

Накрая е направено едно икономическо сравнение на строителните разходи и разходите за подновяване между настилката от сплит мастик асфалт заедно с една оптимизирана шумопредпазна стена и настилката от порест асфалт за период от 30 години (глава 7). От него излиза, че за порестият асфалт са необходими по-малки строителни разходи отколкото за комбинацията сплит мастик асфалт и оптимизирана шумопредпазна стена за изследвания период от време.

Vorwort

Ich möchte mich herzlich bei Herrn o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Dr.h.c Johann Litzka bedanken, der mir erlaubte und ermöglichte, diese Arbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung verfassen zu können.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Jürgen Haberl für seine Betreuung und die gute Zusammenarbeit und besonders für seine Geduld und Toleranz bedanken.

Ich danke auch meiner Familie, von der ich eine unbegrenzte Unterstützung während meines ganzen Aufenthalts in Wien erhalten habe.

Noch möchte ich ganz herzlich Frau Maria Trubel für ihre große Hilfe und Unterstützung im Dekanat danken.

Zuletzt möchte ich mich bei meinen Studienkollegen für die Unterstützung bedanken.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| 1. EINLEITUNG | 7 |
| 2. ALLGEMEINES | 8 |
| 2.1 Definition Lärm | 8 |
| 2.2 Physikalische Grundlagen | 8 |
| 2.2.1 Schall | 8 |
| 2.2.2 Schallgeschwindigkeit | 8 |
| 2.2.3 Schallfrequenz | 8 |
| 2.2.4 Terz- und Oktavbänder | 9 |
| 2.3 Lärmerfassung und – beurteilung | 9 |
| 2.4 Hörbereich des Menschen | 11 |
| 2.5 Logarithmische Skala | 12 |
| 2.6 Lärmauswirkungen auf den Menschen | 12 |
| 2.7 Lärmquellen | 13 |
| 2.7.1 Allgemeines | 13 |
| 2.7.2 Straßenverkehr | 15 |
| 2.7.3 Einflussfaktoren auf den Straßenverkehr | 16 |
| 2.7.4 Oberflächentextur | 17 |
| 3. LÄRMMESSMETHODEN | 19 |
| 3.1 Allgemeines | 19 |
| 3.2 Rollgeräuscmessungen | 20 |
| 3.2.1 Messungen nach RVS 11.06.64 | 20 |
| 3.2.2 Messungen nach ISO/CD 11819- 2 (CPX) | 23 |
| 3.3 Vorbeifahrtmessungen | 27 |
| 4. LÄRMSCHUTZMASSNAHMEN | 31 |
| 4.1 Allgemeines | 31 |
| 4.2 Lärmindernde Deckschichten | 33 |
| 4.2.1 Grundsätzliches | 33 |
| 4.2.2 Lärmindernde Betondecken | 35 |
| 4.2.3 Lärmindernde Dünnschichtdecken | 37 |
| 4.2.4 Drainasphalt (DA) | 37 |
| 4.2.5 Splittmastixasphalt (SMA) | 40 |
| 4.3 Lärmschutzeinrichtungen | 41 |
| 4.3.1 Grundsätzliches | 41 |
| 4.3.2 Wirkungsweise einer geraden Lärmschutzwand | 41 |
| 4.3.3 Beispiele für verschiedene Lärmschutzwandsysteme | 43 |
| 4.3.4 Innovative Lärmschutzwände | 46 |
| 4.3.5 Lärmschutzwälle | 48 |
| 4.3.6 Einhausungen | 49 |
| 4.4 Passiver Lärmschutz | 49 |
| 5. LÄRMAUSBREITUNGSBERECHNUNG - AUFSTELLUNG DES BERECHNUNGSMODELLS | 51 |
| 5.1 Beschreibung des Geländes | 51 |
| 5.2 Grundlagen der Lärmberechnung | 52 |
| 5.2.1 Basiskennwerte zur Ermittlung des Emissions- bzw. Immissionsschallpegels | 52 |
| 5.2.2 Maßgebende Verkehrsstärken | 53 |
| 5.2.3 Berechnung des Emissionsschallpegels | 54 |
| 5.2.4 Berechnung des Immissionsschallpegels | 57 |
| 5.3 Lärmberechnung nach SoundPLAN | 58 |
| 5.3.1 Ermittlung der maßgebenden Verkehrsstärken für den untersuchten Straßenabschnitt | 58 |
| 5.3.2 Berechnung des Emissionsschallpegels für den untersuchten Straßenabschnitt | 59 |
| 5.3.3 Berechnung des Immissionsschallpegels | 60 |
| 6. LÄRMAUSBREITUNGSBERECHNUNG - AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE | 61 |
| 6.1 Allgemeines | 61 |
| 6.2 Analyse der erstellten Rasterlärmkarten ohne den Einsatz einer Lärmschutzwand | 62 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 6.2.1 | Beurteilungszeitraum Tag | 62 |
| 6.2.2 | Beurteilungszeitraum Nacht | 68 |
| 6.3 | Analyse der erstellten Schnittlärmkarten ohne den Einsatz einer Lärmschutzwand | 74 |
| 6.4 | Analyse der Immissionsorte in der Siedlung | 77 |
| 6.5 | Auswertung der Ergebnisse mit einer Lärmschutzwand | 83 |
| 6.6 | Analyse der erstellten Rasterlärmkarten des untersuchten Geländemodells mit einer optimierten Lärmschutzwand..... | 84 |
| 6.7 | Analyse der erstellten Schnittlärmkarten des untersuchten Geländemodells mit einer optimierten Lärmschutzwand..... | 88 |
| 6.8 | Analyse der Immissionsorte in der Siedlung mit einer optimierten Lärmschutzwand | 91 |
| 7. | LÄRMSCHUTZMASSNAHMEN - GROBE KOSTENABSCHÄTZUNG..... | 95 |
| 7.1 | Parameter des untersuchten Straßenabschnitts und der entsprechenden Lärmschutzwand | 95 |
| 7.2 | Einbau- und Erneuerungskosten | 96 |
| 7.3 | Darstellung der ermittelten Ergebnisse | 97 |
| 8. | ZUSAMMENFASSUNG | 99 |
| | ABBILDUNGSVERZEICHNIS..... | 101 |
| | TABELLENVERZEICHNIS | 105 |
| | LITERATURVERZEICHNIS | 106 |

1. EINLEITUNG

In den letzten Jahren hat sich die Anzahl an Fahrzeugen eindeutig erhöht, der Straßenverkehr ist intensiver geworden und damit werden auch immer mehr Menschen, die im Straßennahbereich leben, Opfer dieser starken Verkehrslärmbelastungen. Diese können dem Wohlbefinden des Menschen schaden und langfristig auch ein Risiko für die Gesundheit darstellen. Lärm hat sich als ein Umweltproblem entwickelt und verschiedene Maßnahmen zur Lärmreduktion wurden Hauptziel von mehreren Forschungsprojekten und Untersuchungen.

Die Hauptlärmbelastungsquelle in den Ländern der EU ist der Verkehrslärm, wo der vom Straßenverkehr stammende Lärm den größten Anteil besitzt. Straßenverkehrslärm entsteht vorwiegend beim Abrollen des Reifens auf der Fahrbahn (Rollgeräusch), aber auch durch Geräusche des Motors und des Antriebsstranges, so wie durch aerodynamische Geräusche. Straßenverkehrslärm hängt von mehreren Einflussfaktoren ab, hauptsächlich vom Antrieb und Reifentyp des Fahrzeuges, von der Art der Deckschicht, von der gefahrenen Geschwindigkeit und von der Oberflächenbeschaffenheit der Straßendecke. Da die Emissionen von Motor und Antriebsstrang in der Vergangenheit durch Weiterentwicklungen in der Motortechnologie und im Fahrzeugbau stark gesunken sind, und die aerodynamischen Geräusche erst ab einer Geschwindigkeit von 120 km/h einen bedeutenden Einfluss aufweisen, wird das Rollgeräusch zum dominierenden Geräuschverursacher. Somit wird die Lärmreduktion des Systems Fahrzeug-Reifen-Fahrbahndeckschicht vorwiegend durch den Einsatz spezieller Reifentypen oder durch Verwendung von lärmindernden Fahrbahndeckschichten erreicht.

Eine andere Möglichkeit zur Lärminderung ist die Begrenzung der Lärmimmissionen. Das geschieht einerseits durch bauliche Maßnahmen an der Straße, wie zum Beispiel durch Lärmschutzwände und -wälle, die zusammen mit den lärmindernden Deckschichten als aktive Lärmschutzmaßnahmen bezeichnet werden, andererseits durch die Verwendung von sogenannten Lärmschutzfenstern und -türen (passiven Lärmschutzmaßnahmen).

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die verschiedenen Lärmschutzmaßnahmen und deren Wirkungsweisen erklärt, sowie die zwei Messmethoden zur Erfassung des Straßenverkehrslärms genauer erläutert. Die Rollgeräuschmessung ist durch die Aufnahme des Schalles direkt an der Quelle charakterisiert und die Vorbeifahrtmessung basiert auf der Schallmessung in einem bestimmten Abstand und einer bestimmten Höhe zur Straße.

Danach werden anhand eines gewählten Planungsgebietes mittels einer computerunterstützten Modellrechnung die verschiedenen lärmindernden Deckschichttypen in Bezug auf ihr Lärminderungspotenzial miteinander verglichen. Diese Untersuchung wird ebenso mit dem zusätzlichen Einsatz von Lärmschutzwänden durchgeführt. Am Ende wird eine Zusammenfassung der Ergebnisse dargestellt und eine Schlussfolgerung bezüglich des möglichen Lärminderungspotenziales der bautechnischen Lärmschutzmaßnahmen abgeleitet.

2. ALLGEMEINES

2.1 Definition Lärm

Lärm ist jede Art von Geräusch, durch das Menschen gestört, belastigt oder sogar gesundheitlich geschädigt werden können.

Lärm ist eine subjektiv empfundene Größe, mehrere dem gleichen Geräusch ausgesetzte Personen können dieses unterschiedlich empfinden. Die Gründe hierfür können zum Beispiel von dem jeweiligen physischen und psychischen Gesundheitszustand oder der persönlichen Einstellung gegenüber dem Verursacher abhängen.

Lärm kann somit nicht mit physikalischen Messgeräten erfasst werden. Eine objektive Auswertung der Lärmsituation ergibt sich durch die Erfassung der physikalischen Größe des Schalldruckes.

2.2 Physikalische Grundlagen

2.2.1 Schall

Jeder Schall entsteht durch Schwingungen der Luftteilchen und breitet sich in Form von Schallwellen aus. Grundcharakteristika des Schalles sind die Schallgeschwindigkeit und die Frequenz. Diese Schwingungen können vom Menschen nur dann gehört werden, wenn sie innerhalb eines Frequenzbereiches von 16-20000 Hz liegen [1].

2.2.2 Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit c ist die Geschwindigkeit in [m/s], mit der sich Schallwellen in einem beliebigen Medium ausbreiten. Die Schallgeschwindigkeit in der Luft ist temperaturabhängig und beträgt 343 m/s bei 20°C (Raumtemperatur).

2.2.3 Schallfrequenz

Die Frequenz ist die Anzahl der Schwingungen pro Zeit und wird in (Hz) angegeben.

Jedes Geräusch kann in einfache sinusförmige Schwingungen zerlegt werden. Das entsprechende Frequenzspektrum wird durch die Angabe der Amplitude der einzelnen Sinusschwingung über der Frequenz f erhalten. Während sich ein Ton im Frequenzspektrum als eine Linie bei einer bestimmten Frequenz darstellt, weist ein Geräusch in der Regel ein kontinuierliches Frequenzspektrum auf (siehe Abbildung 1).

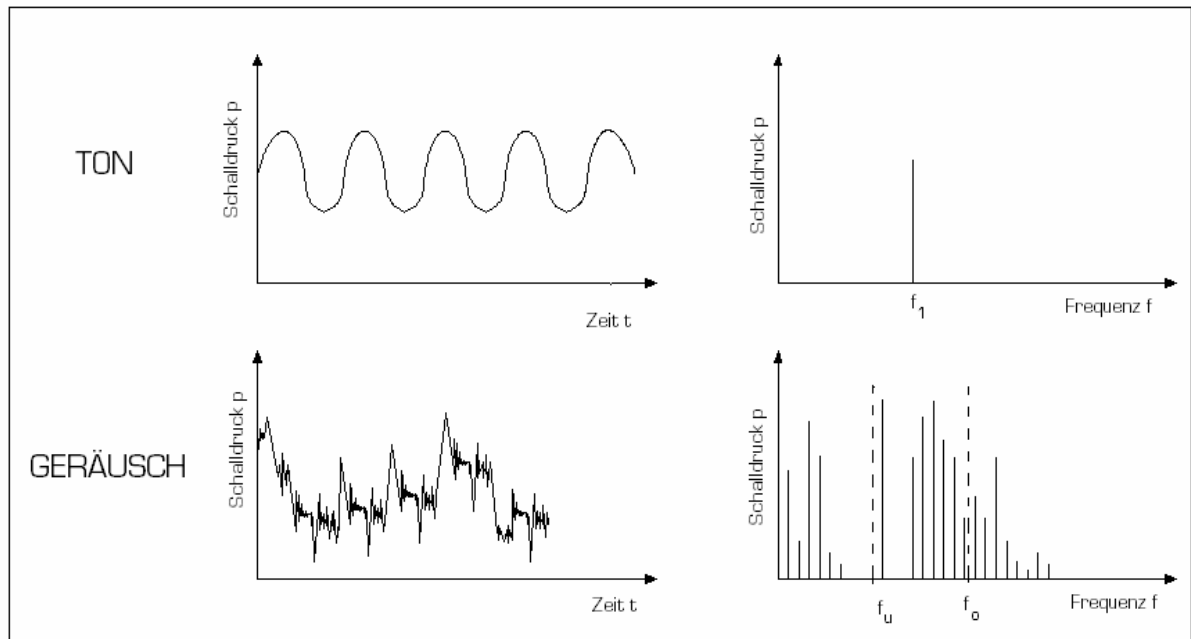


Abbildung 1: Frequenzspektrum eines Tones und eines Geräusches [1]

2.2.4 Terz- und Oktavbänder

Zur Beschreibung eines Geräusches wird der Frequenzbereich von 16–16000 Hz logarithmisch in Oktaven oder Dritteloktaven (Terzen) unterteilt, die durch eine untere und obere Eckfrequenz (f_u , f_o) begrenzt sind. Bei der gröberen Oktavenunterteilung entspricht jeder Oktavschritt einer Frequenzverdoppelung. Die Terzschritte unterteilen eine Oktav in drei gleiche Teile. Anhand der unteren und oberen Eckfrequenzen kann eine Mittenfrequenz f_m bestimmt werden. Sie teilt den Oktav- bzw. den Terzschritt in zwei logarithmisch gleiche Teile und benennt die entsprechende Oktav bzw. die Terz [1].

2.3 Lärmerfassung und – beurteilung

Das menschliche Ohr empfindet Töne gleichen Schalldrucks je nach Frequenz unterschiedlich laut. Die größte Empfindlichkeit liegt in dem von der menschlichen Sprache abgedeckten Frequenzbereich von etwa 300 bis ca. 3150 Hz. Ein Geräusch in den höheren oder niedrigeren Frequenzbereichen muss entsprechend lauter sein, um gehört zu werden. Das bedeutet, dass unser Gehör nicht linear funktioniert. Im Gegensatz dazu weist ein gutes Mikrofon einen linearen Frequenzgang auf. Damit eine Messung der Lärmpegel gut an das subjektive Hörempfinden angepasst wird, sind verschiedene elektronische Frequenzfilter entworfen worden. Besondere Bedeutung hat der sogenannte A-Filter. Töne im Bereich um 1 kHz werden unverändert durchgelassen, Töne im Bereich um 4 kHz werden bei einer dB(A)-Bewertung leicht verstärkt und Töne unterhalb von 1 kHz und oberhalb von 4 kHz werden entsprechend abgeschwächt [2], [3]. Die auf internationaler Ebene festgelegten Bewertungskurven sind in Abbildung 2 dargestellt.

- A- Bewertung entspricht den Kurven gleicher Lautstärkepegel bei ca. 20-40 dB.
- B- Bewertung entspricht den Kurven gleicher Lautstärkepegel bei ca. 50-70 dB.
- C- Bewertung entspricht den Kurven gleicher Lautstärkepegel bei ca. 80-90 dB.
- D- Bewertung entspricht den Kurven gleicher Lautstärkepegel bei sehr hohen Schalldrücken (es wird bei Fluglärm angewandt)

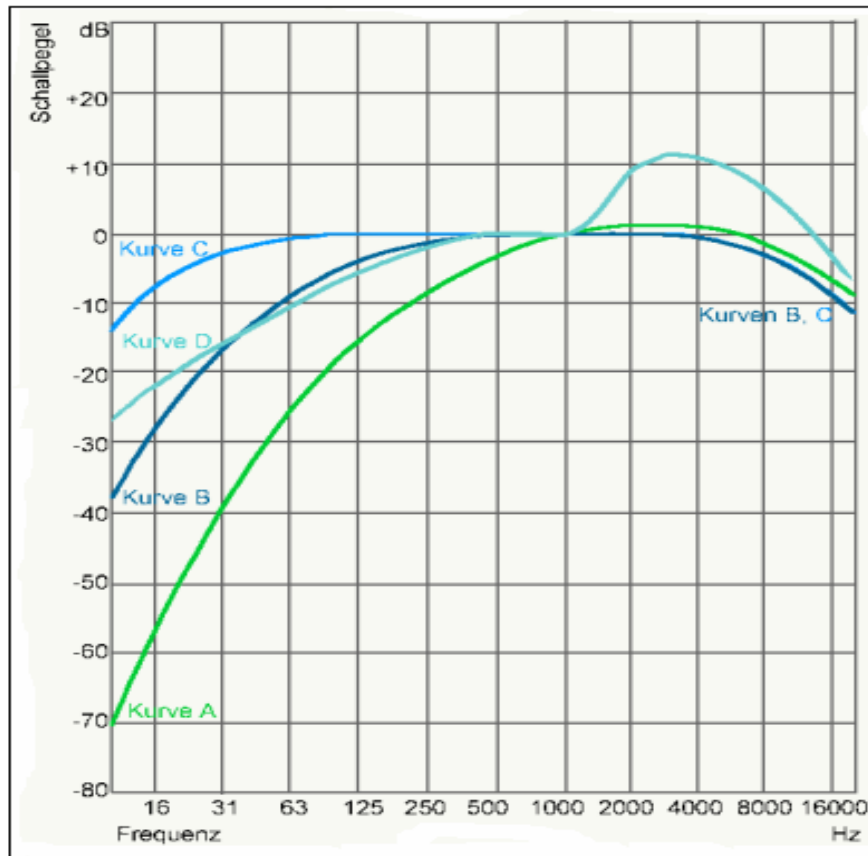


Abbildung 2: Bewertungskurven für Schallpegelmesser [4]

Verkehrsgerausche werden mit der Bewertungskurve „A“ überlagert. Das Ergebnis wird als A-bewerteter Schalldruckpegel angegeben und erhält die Bezeichnung dB(A).

Die meisten Schallereignisse sind zeitlich in ihrer Intensität verschieden. Um solche Geräusche mit einem einzigen Wert beschreiben zu können, werden die gemessenen Schalldruckpegel über die Zeit gemittelt und als energieäquivalenter Dauerschallpegel bezeichnet (siehe auch Kapitel 3). „Dabei handelt es sich um einen A-bewerteten Schallpegel konstanter Amplitude, der im Beurteilungszeitraum die gleiche Schallenergie überträgt wie der Schallpegel mit schwankender Amplitude entsprechend der Störwirkung eines gleich bleibenden Dauergeräusches“ [5].

In den österreichischen Gesetzen, Normen und Richtlinien wird der A-bewertete Schalldruckpegel zur Beschreibung und Messung von Lärm verwendet. Für die Festlegung von Grenzwerten werden meistens der energieäquivalente Dauerschallpegel bzw. aus ihm abgeleitete Größen herangezogen.

2.4 Hörbereich des Menschen

Wie bereits erwähnt, verfügt das menschliche Ohr über einen Wahrnehmungsbereich für Schallschwingungen, deren Frequenz zwischen etwa 16 und 20000 Hz liegt. Bei Frequenzen unter 16 Hz wird von Infraschall gesprochen, bei Frequenzen, die über 20 kHz liegen, handelt es sich um Ultraschall. In Abbildung 3 ist der Frequenzbereich von Sprache, Musik und sonstigen, von Menschen hörbaren, Geräuschen dargestellt. Die Hörschwelle des menschlichen Ohres hängt somit stark von der Frequenz ab, der Schalldruckpegel der Hörschwelle schwankt je nach Frequenzbereich zwischen 0 dB und 80 dB. A-bewertete Schallpegel unter 20-25 dB(A) werden von vielen als „Stille“ empfunden, solche über 55 dB(A) erschweren die Kommunikation. Oberhalb der Schmerzgrenze bei ca. 120 dB(A) ist das Hörereignis mit direkten Schmerzempfindungen im Ohr verbunden. So kann bei einem Detonationsknall von etwa 150 dB(A) das Trommelfell platzen.

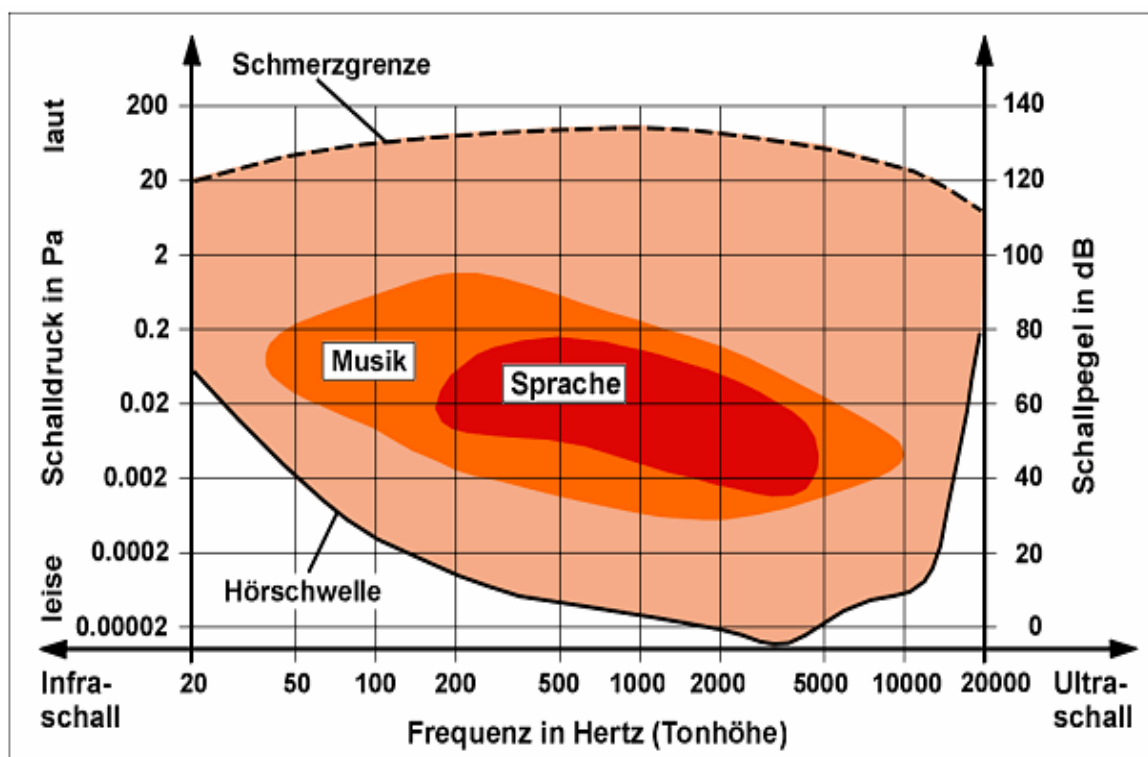


Abbildung 3: Hörbereich des Menschen [2]

2.5 Logarithmische Skala

Gemessene Schalldrücke im Hörbereich des Menschen umfassen eine Skala, welche zwischen 0,00002 und 200 Pa, über insgesamt 7 Zehnerpotenzen, reicht. Wegen der großen Spanne der Zahlenwerte wurde ein logarithmischer Maßstab für die Lautstärkeskala festgelegt. Der Pegelwert L ergibt sich durch den dekadischen Logarithmus aus dem Quotienten einer Messgröße x zu einer Bezugsgröße x_0 (Schwellenwert). Obwohl L dimensionslos ist, wird ihm die Einheit Bel (1 B) zugeordnet. In der Praxis ist das Dezibel (1 dB=0,1 B) gebräuchlicher.

Schall wird durch die Messgröße „Schalldruckpegel“ erfasst. Die Einheit ist Dezibel (dB)

$$L_p = 10 \cdot \lg\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right) \dots [\text{dB}] \quad (2.1)$$

L_p – Schalldruckpegel [dB]

p – Schalldruck der betrachteten Schallwelle [Pa]

p_0 – international festgelegter Bezugsschalldruck [Pa], $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Durch die logarithmische Schallpegelskala ergeben sich folgende spezifische Eigenschaften: Wenn gleich laute Schallquellen vorhanden sind, verursacht die Verdoppelung der Schallquellen eine Erhöhung des Pegelwertes um +3 dB. Diese Pegeländerung kann vom Gehör des Menschen gerade noch wahrgenommen werden. Erst eine Pegeländerung um 10 dB empfindet der Mensch als doppelt so laut. Das würde einer Verzehnfachung der Schallquellen entsprechen.

2.6 Lärmauswirkungen auf den Menschen

Lärm ist beim Menschen mit der Erzeugung von Stress verbunden. Bei mehr als 65 dB(A) auf Dauer steigt das Risiko, an Bluthochdruck oder anderen Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu leiden. Diese Lärmbelastung verursacht auch Nervosität, üble Laune und Abnahme der Lernfähigkeit.

Lärm hat auch negative Auswirkungen auf der sozialen Ebene. Sie äußern sich in Störungen der Sprachverständlichkeit und dadurch in Störungen der Kommunikation, in Veränderung des Wohnverhaltens und sogar der Sozialstruktur (ruhige Wohnlagen sind teurer als laute).

Zu hohe Lärmbelastung weist auch einen negativen Einfluss in wirtschaftlichen Aspekten auf. Er spiegelt sich in der Verminderung der Wohnqualität, dadurch in der Wertminderung von Grundstücken oder auch in Kosten für Fehler, die durch die Leistungsminderung infolge von Lärm entstehen.

Prinzipiell können Schäden durch Lärmeinwirkungen erheblich groß sein, sie sind jedoch schwer abzuschätzen. Abbildung 4 stellt charakteristische Geräusche im Alltag dar, die bezüglich der „A“-Bewertungskurve angepasst sind.

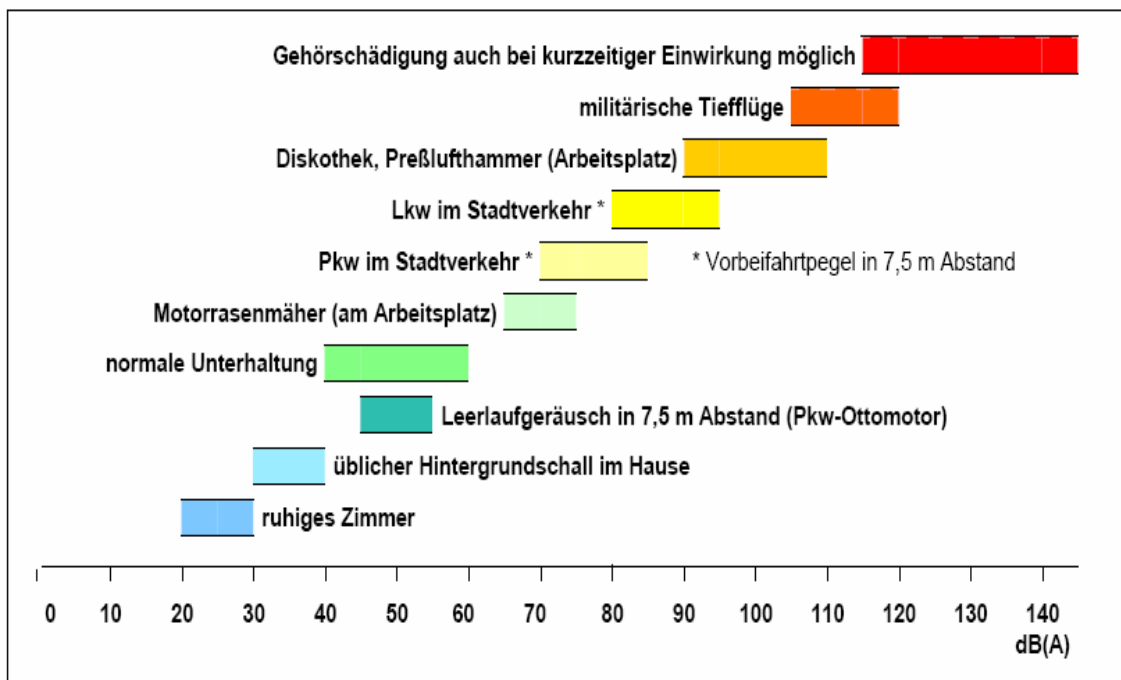


Abbildung 4: charakteristische Pegelwerte verschiedener Geräuschquellen (nach [2])

2.7 Lärmquellen

2.7.1 Allgemeines

Die während der letzten 30 Jahre durchgeführten Erhebungen der Statistik Austria über die Lärmbelastigung zeigen eine deutliche Abnahme des Anteiles der Bevölkerung, der sich durch Lärm gestört fühlt (siehe Abbildung 5). Aus der Umfrage im Jahr 2003 kann entnommen werden, dass dieser Anteil bis auf 29% der Bevölkerung abgesunken ist. Dies kann allerdings auch auf eine gewisse Gewöhnung zurückzuführen sein.

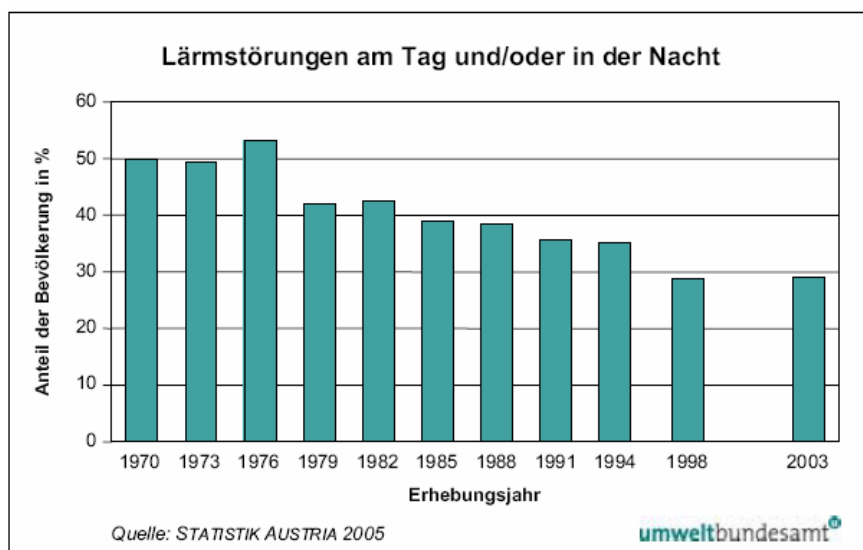


Abbildung 5: Lärmstörungen am Tag und/oder in der Nacht [6]

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Umfragen ist weiter zu entnehmen, dass Verkehr der Hauptverursacher von Lärm ist, er wird von rund 73% der Betroffenen als Quelle genannt. Dieser setzt sich aus 60% für den Straßenverkehr, 9% für den Schienenverkehr (Straßenbahnen eingeschlossen) und 4% für den Flugverkehr zusammen (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Lärmstörung am Tag und/oder in der Nacht nach Lärmquellen [6]

Während Betriebslärm und sonstige Lärmquellen wie Baustellen, Gaststätten, Sport- und Freizeitanlagen und Wohnlärm nur lokale Bedeutung aufweisen, zeichnet sich der Verkehrslärm mit einem sehr großen Umfang ab.

Straßenverkehrslärm entsteht in erster Linie durch Roll- und Motorgeräusche. Straßenverkehrslärmbelastungen werden durch die Verkehrsstärke, den LKW-Anteil, die zulässige Höchstgeschwindigkeit, Fahrbahndeckschichten, Lärmschutzeinrichtungen, Reflexionen und durch die Entfernung zur Fahrbahn stark beeinflusst. In hochbelasteten Gebieten wird er meistens als ein Dauergeräusch wahrgenommen.

Im Gegensatz zum Straßenverkehr werden Schienenverkehrsgeräusche als kurzfristige, aber in der Lärmspitze bedeutend lautere Geräusche empfunden. Sie sind vor allem Geräusche durch den Rad-Schiene-Kontakt, Geräusche von Unter- und Oberwagen sowie Maschinengeräusche.

Durch den ständigen Ausbau und die intensive Nutzung von Flughäfen, Flugplätzen und Hubschrauberlandeplätzen wird der Schutz vor Fluglärm für die Bevölkerung immer stärker diskutiert. Die zulässige Geräuschemission von Flugzeugen ist im Annex 16 des internationalen Übereinkommens über die Zivilluftfahrt der International Civil Aviation Organization (ICAO) geregelt [6]. Für Flughäfen werden auch lärmabhängige Betriebsbeschränkungszeiten eingesetzt, bei denen ein gewisser Schallereignispegel nicht überschritten werden darf.

Beim Betrieb industrieller und gewerblicher Anlagen entstehen ebenfalls Geräusche, die auf die Umwelt einwirken. Diese Geräuschart wird als Gewerbelärm bezeichnet. Anlagen, bei denen davon auszugehen ist, dass stärkere Emissionen verursacht werden, sind als genehmigungsbedürftig eingestuft.

Lärmintensive Freizeitaktivitäten stehen oft im Gegensatz zum Ruhebedürfnis anderer und sind dabei immer wieder Grund für Beschwerden. Deshalb wird bereits bei der Planung neuer Sport- bzw. Freizeitanlagen darauf geachtet, dass ein ausreichender Schutzabstand zwischen Wohnbebauung und Sport- bzw. Freizeitanlagen gewährleistet ist. Ebenso können auch aktive Lärmschutzmaßnahmen wie Lärmschutzwälle und -wände zur Entspannung des Nutzungskonfliktes beitragen.

Haus- und Wohnlärm kann sowohl durch das Verhalten von Personen, als auch durch Hausgeräte und -maschinen verursacht werden. Menschen reagieren auf Geräusche aus Nachbarwohnungen wesentlich empfindlicher als auf Geräusche, die von außen eindringen. Ein Geräusch aus der Nachbarwohnung kann schon dann als störend empfunden werden, wenn es gerade die Wahrnehmungsschwelle überschreitet.

2.7.2 Straßenverkehr

Der Hauptverursacher von Verkehrslärm ist der Straßenverkehr. Ein vorbeifahrendes Fahrzeug (Pkw bzw. Lkw) ist eine sehr komplexe Geräuschquelle. Als wichtige Schallquellen können

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

betrachtet werden. Sie sind schematisch in Abbildung 7 dargestellt.

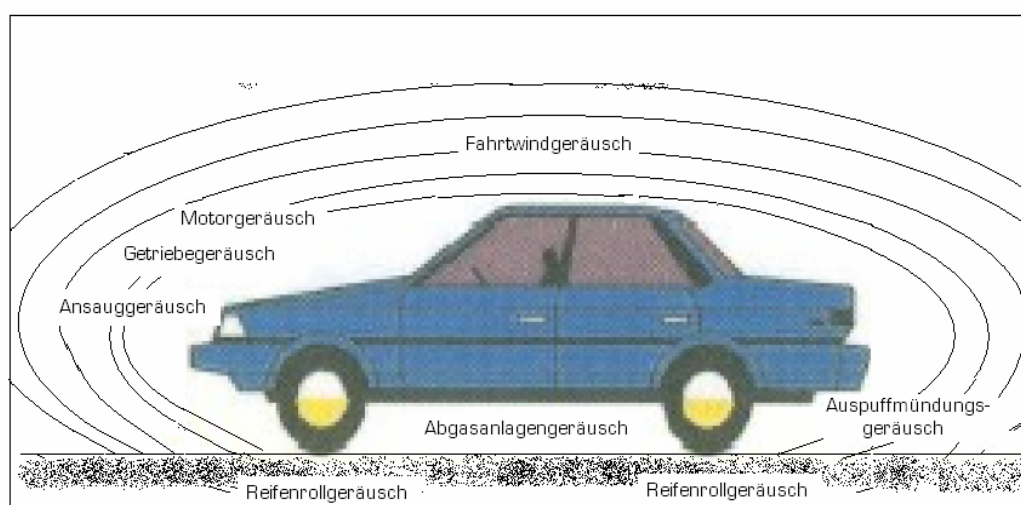


Abbildung 7: Teilschallquellen eines Fahrzeuges bei der Vorbeifahrt (nach [7])

In den meisten Fahrsituationen innerorts und nahezu allen Fahrsituationen außerorts dominiert das Reifen-Fahrbahn Geräusch. Es entsteht, wenn der Reifen auf der Straßenoberfläche abrollt.

Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten gewinnt das aerodynamische Geräusch die Rolle der lautesten Komponente. Ab einer Geschwindigkeit von ca. 120 km/h beim Pkw spielen Luftturbulenzen, die an den verschiedenen Karosserieteilen entstehen, eine große Rolle bei der Schallabstrahlung.

Das Antriebsgeräusch dominiert bei niedrigen Geschwindigkeiten und hohen Motorleistungen wie zum Beispiel im Stadtverkehr, besonders bei Beschleunigungs- und Bremsvorgängen oder Steigungstrecken.

Grenzwerte für Kfz-Geräuschemissionen sind in den letzten Jahren immer wieder abgesenkt worden (siehe Abbildung 8), was zu einer erheblichen Geräuschabstrahlungsminderung der Ansaug- und Auspuffanlage von Kraftfahrzeugen führte.

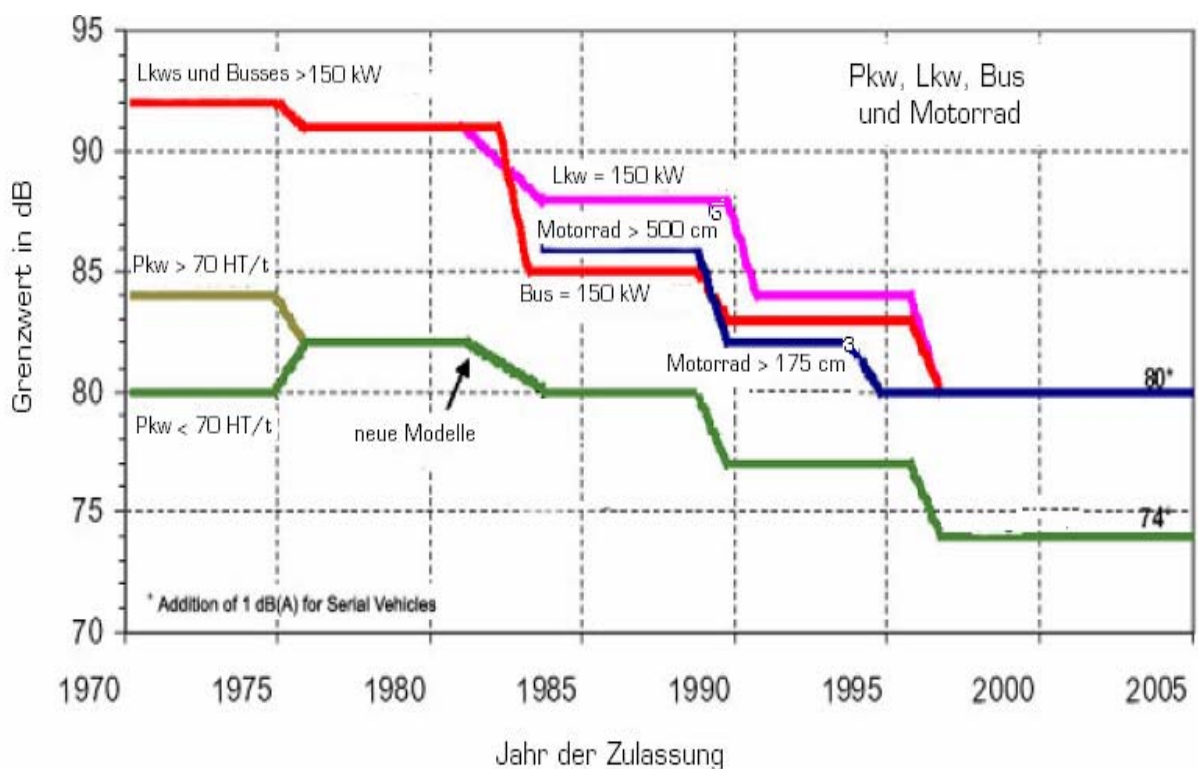


Abbildung 8: EU-Schallgrenzwerte für verschiedene Fahrzeugkategorien [8]

2.7.3 Einflussfaktoren auf den Straßenverkehr

Das Schallereignis bei der Vorbeifahrt eines Kraftfahrzeuges wird vorwiegend durch die Eigenschaften der Fahrbahn und der Reifen beeinflusst. Ebenfalls spielen auch Fahrzeugcharakteristika und Umgebungsbedingungen eine nicht zu unterschätzende Rolle. Zum Beispiel sind Fahrbahn- und Umgebungstemperatur oder auch Windgeschwindigkeit streng in den Lärmessbedingungen definiert worden, wenn die Grenzwerte nicht eingehalten sind, werden die Messergebnisse verworfen.

Prinzipiell lassen sich die Einflussfaktoren auf die Hauptkategorien

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

gliedern. Bei der Betrachtung dieser Faktoren ist es aber unbedingt notwendig, die Zusammenwirkung dieser Komponenten zu beachten [7].

2.7.4 Oberflächentextur

Die Oberflächentextur einer Fahrbahndeckschicht hat einen wesentlichen Einfluss auf die Schallentstehung. Die Oberfläche einer Fahrbahndeckschicht wird durch die zwei Parameter Wellenlänge und Profiltiefe charakterisiert (siehe Abbildung 9). Die so genannte Textur hängt von den verwendeten Materialien der Deckschicht und deren Eigenschaften ab. Außerdem spielen Einwirkungen aus Verkehr und Klima bei der zeitlichen Änderung der Textur eine relevante Rolle [9].

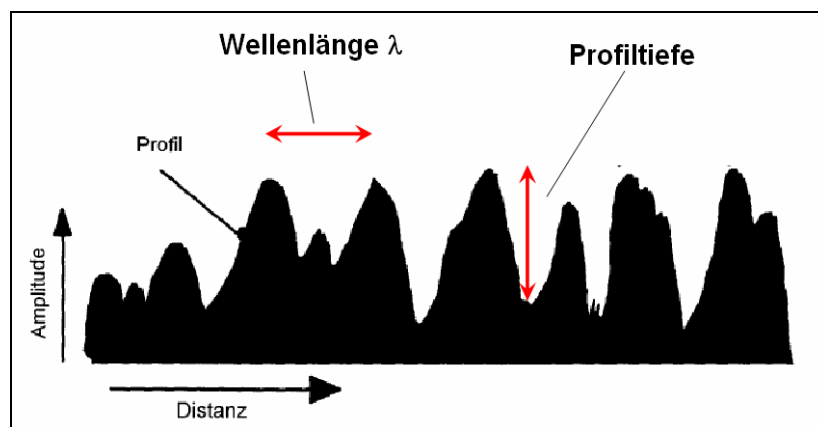


Abbildung 9: Darstellung eines Oberflächenprofils [9]

Durch die Textur wird das Reifenrollgeräusch stark beeinflusst. Je nach Wellenlänge wird zwischen Mega-, Makro- und Mikrotextur unterschieden (siehe Abbildung 10).

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.

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 durch die MPD (Mean Profile Depth) ausgedrückt.

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.

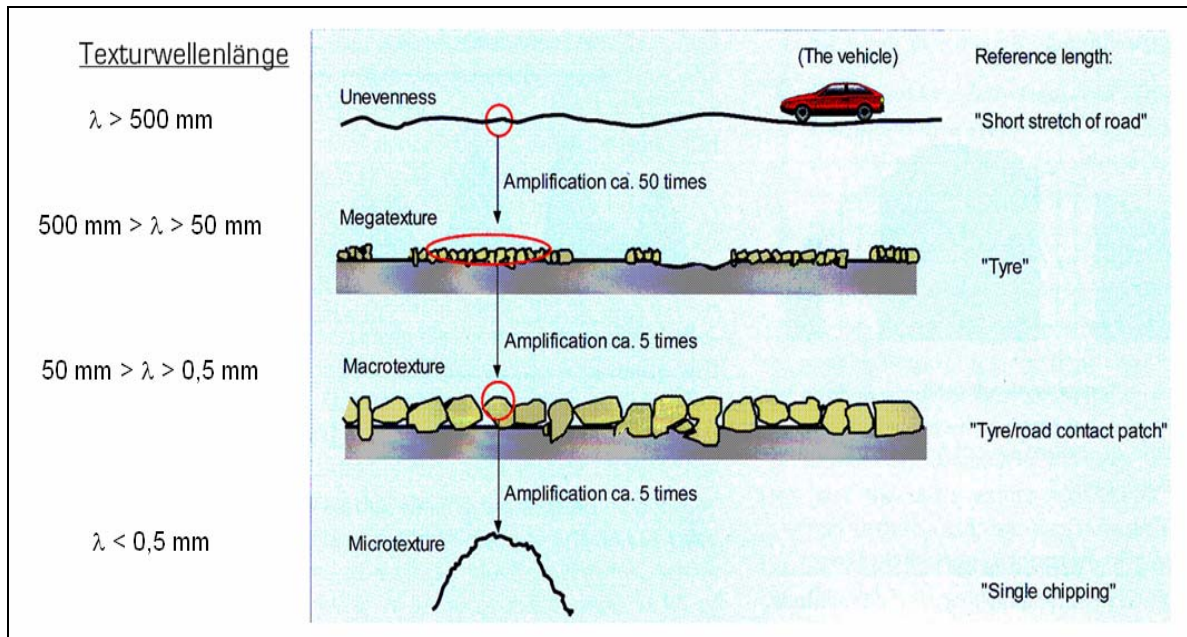


Abbildung 10: Darstellung von Mega-, Makro- und Mikrotextur [9]

Im akustischen Aspekt wird der Einfluss der Oberflächentextur auf das Reifen-Fahrbahngeräusch folgendermaßen beschrieben [10]:

- Im Wellenlängenbereich von 10 bis 500 mm nimmt mit wachsender Amplitude das Rollgeräusch, vornehmlich im Frequenzbereich unter 1000 Hz, infolge mechanischer Schallanregungen am Reifen (siehe auch Kapitel 4.2.1) erheblich zu.
- Im Wellenlängenbereich von 0,5 bis 10 mm nimmt das Rollgeräusch, vornehmlich bei hohen Frequenzen (> 1000 Hz), mit der Amplitude ab, da aerodynamische Schallanregungen (siehe auch Kapitel 4.2.1) infolge besserer Entlüftung des Reifenprofils reduziert werden.
- Im Mikrotexturbereich nimmt bei sehr dichten Oberflächen die Adhäsion zwischen Reifen und Fahrbahn zu. Dabei entstehen hochfrequente Geräusche.

Dies bedeutet für die moderne Deckenbautechnik, dass Oberflächen mit geringer Makro- und Megatextur anzustreben sind. Dabei muss allerdings das Luftdrainagevermögen ausreichend groß sein, damit aerodynamische Schallemissionen in der Kontaktfläche möglichst vermieden werden.

Neueste Forschungsergebnisse zeigen, dass isotrope „dichte“ Oberflächen, die zugleich ein „Plateau mit Schluchten“ aufweisen, ein höheres Lärminderungspotenzial zeigen als Oberflächen mit unterschiedlichen „Spitzen und Tälern“. Daraus folgt, dass dichte Deckschichten einer neuen lärmindernden Generation derartig ausgeführt werden müssen, dass die Gesteinskörner eine ebene Oberfläche ohne herausragende Spitzen bilden (siehe Abbildung 11) [9].

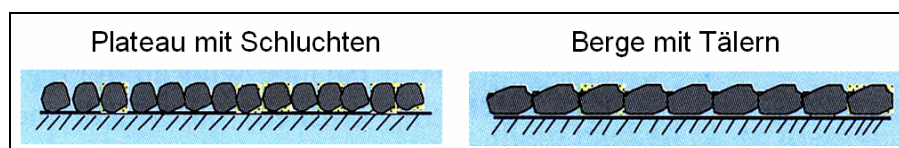


Abbildung 11: Prinzipskizze der unterschiedlichen Texturformen [9]

3. LÄRMMESSMETHODEN

3.1 Allgemeines

Die angewandten Messmethoden haben den Hauptzweck, das Geräuschverhalten eines fahrenden Fahrzeuges zu beschreiben und gleichzeitig eine Beurteilung der akustischen Eigenschaften der befahrenen Fahrbahndecken zu erhalten. Das geschieht einerseits durch die Erfassung der Schallemissionen, die die Schallabstrahlung von einer Schallquelle charakterisieren und andererseits durch die Erfassung der Schallimmissionen, die die Ausbreitung von Schall beschreiben.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die folgenden zwei Messmethoden genauer erläutert:

- Rollgeräuschmessung
- Vorbeifahrtmessung

Die erste Methode beschäftigt sich mit einer Aufnahme der Schallemissionen direkt an der Quelle und die zweite basiert auf Schallmessungen in einem bestimmten Abstand und einer bestimmten Höhe zur Straße (Aufnahme der Schallimmissionen).

Es existieren auch anderen Messmethoden, die verschiedene Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche in Hinsicht auf Lärmauswirkungen charakterisieren, diese werden nachfolgend nur kurz beschrieben.

Die Absorptionsmessung nach DIN ISO 13472-1 [11] ermöglicht die Bewertung der Schallabsorptionseigenschaften einer Straßenoberfläche, ohne diese zu beschädigen. Die Messung basiert auf der Ausbreitung eines Prüfsignals einer Schallquelle zur Straßenoberfläche und zurück zu einem Empfänger im Freifeld. Dabei wird eine Fläche von etwa 3 m² erfasst und ein Frequenzbereich von 250 bis 4kHz (in Terzbändern) abgedeckt.

Die RVS 11.06.61 [12] regelt die Messung des Drainverhaltens einer Deckschicht. Das ist die Fähigkeit einer Schicht, auftreffendes Wasser aufzunehmen und intern abzuleiten. Die ermittelten Ausflusszeiten sind ein Maß für das Drainverhalten. Die Messung erfolgt mittels eines speziellen Ausflussmessgeräts.

Die Messung der Textur gemäß RVS 11.06.66 [13] erfolgt mit einem modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser – System RoadSTAR. Die Texturmesseinrichtung besteht aus einem Hochleistungs- Präzisionslasermessgerät und mit ihm wird die Oberfläche der untersuchten Deckschicht in 127 mm langen Einzelprofilen erfasst, die einen Meter in Längsrichtung von einander entfernt sind. Von jedem Einzelprofil wird die mittlere Profiltiefe berechnet (MPD- mean profile depth) und schließlich durch arithmetisches Mitteln der MPD- Wert für jeweils 50 m bestimmt.

Die EN 13036-1 [14] regelt das so genannte „Sandfleckverfahren“, das für die Ermittlung der Texturtiefe dient. Dabei wird eine bestimmte Sandmenge auf einer Straßenoberfläche ausgebreitet. Der Sand wird so verbreitet, dass er einen kreisförmigen Fleck bildet, dessen Durchmesser gemessen wird. Die mittlere Texturtiefe ergibt sich, wenn das Sandvolumen durch die bedeckte Fläche dividiert wird.

3.2 Rollgeräuschmessungen

Wie schon erläutert, dienen Rollgeräuschmessungen generell zur Erfassung der Schallemissionen, die beim Abrollen des Reifens auf der Fahrbahndeckschicht entstehen. In Österreich werden Messungen nach RVS 11.06.64 [15] und Messungen nach ISO/CD 11819-2 [16] durchgeführt.

3.2.1 Messungen nach RVS 11.06.64

Das Messverfahren nach RVS 11.06.64 wird für Abnahmeprüfung von Fahrbahndecken bezüglich des Rollgeräusches oder für eine vergleichende Beurteilung von verschiedenen Fahrbahndeckschichten hinsichtlich des Rollgeräusches angewandt. Die Rollgeräuschmessung erfolgt mit einem einrädigen Anhänger, der von einem Zugfahrzeug gezogen wird. Der Einrad-Anhänger hat eine Abdeckhaube mit einer schallabsorbierenden Auskleidung, die äußere Schallquellen abschirmt und gleichzeitig innen Reflexionen vermeidet (siehe Abbildung 12).



Abbildung 12: Schallabsorbierende Auskleidung des Anhängers zur Rollgeräuschmessung [17]

Die Schallemissionen werden mit zwei Mikrofonen gemessen. Das Erste befindet sich hinter dem Messrad und die Lage des anderen ist seitlich des Messrades. Die beiden Mikrofone sind durch die Konstruktion des Messanhängers weitgehend geschützt. Abbildung 13 zeigt die genaue Anordnung der Mikrofone und des Messrades sowie eine Prinzipskizze des Rollgeräuschmessanhängers.

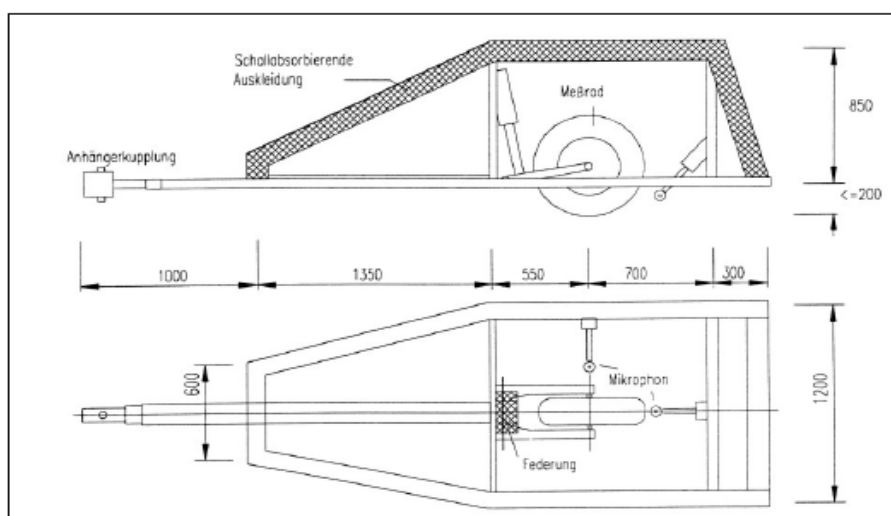


Abbildung 13: Prinzipskizze des Rollgeräuschmessanhängers [18]

Bei der Messung wird der Messreifen PIARC – Testreifen der Marke Maloya 65 R 15 mit einem Reifeninnendruck von 2,3 Bar bei einer Radlast von $4 \pm 0,5$ kN verwendet, der bis auf 4 Längsrillen völlig glatt ist (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Messreifen des Lärmmessanhängers (Foto IFS Ziviltechniker GmbH) [19]

Während des Messvorganges wird die Fahrgeschwindigkeit ununterbrochen aufgezeichnet (je nach den Anforderungen kann sie zwischen 30 und 120 km/h gewählt werden) und die Oberflächentemperatur der Fahrbahndecke gemessen. Damit die Messungen als gültig betrachtet werden können, müssen die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

- die Temperatur der Fahrbahndecke muss zwischen 10 und 40°C liegen
- die Fahrbahn muss trocken sein
- die Windgeschwindigkeit darf 5 m/s nicht überschreiten

Vor Beginn der Messungen muss der Reifen durch eine mindestens 15- minütige Einzelfahrt auf Betriebstemperatur gebracht werden. Pro Messstrecke sind mindestens zwei aufeinander folgende Einzelmessfahrten erforderlich, deren Ergebnisse sich um nicht mehr als 0,5 dB voneinander unterscheiden dürfen, um als gültig betrachtet zu werden. Für die Auswertung der Ergebnisse sind mindestens zwei gültige Messfahrten erforderlich.

Aus den aufgezeichneten Rollgeräuschen wird für jedes Messmikrophon und jede Einzelmessfahrt der energieäquivalente A-bewertete Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ ausgewertet. Dann folgt eine Terzbandanalyse in den Mittenfrequenzen 250 bis 10 kHz. Den A- bewerteten Terzbandpegel einer Messfahrt erhält man schließlich durch eine energetische Aufsummierung:

$$LMA_e = 10 \cdot \lg \left(\sum_i 10^{\frac{LMA_{e,t,i}}{10}} \right) \quad (3.1)$$

mit:

| | |
|---------------|--|
| LMA_e | A- bewerteter Terzbandpegel einer Messfahrt |
| $LMA_{e,t,i}$ | A- bewerteter Terzbandpegel eines Mikrophons bei einer Messfahrt |
| e | Messfahrt |
| t | Messmikrofon |
| i | Terzband |

Der Wert $LMA_{e,t,i}$ ist dabei gleich dem energieäquivalenten A-bewerteten Terzbandpegel des hinteren Mikrophons, wenn dieser größer ist als der des seitlichen Mikrophons. Ansonsten ist der Wert $LMA_{e,t,i}$ der energetische Mittelwert über die A-bewerteten Terzbandpegel der beiden Mikrophone. Schließlich ergibt sich der maßgebliche Rollgeräuschpegel aus dem energetischen Mittelwert über die LMA_e – Werte der Einzelmessfahrten.

Wenn die in der RVS geforderte Fahrbahntemperatur von 20°C und die vorher definierte Referenzgeschwindigkeit nicht eingehalten werden, muss der Pegelwert LMA_e wie folgt neu berechnet bzw. korrigiert werden.

$$LMA_{e,t,i,corr} = LMA_{e,t,i} + \eta \cdot (T - T_0) - \varepsilon \cdot (v - v_0) \quad (3.2)$$

mit:

| | | |
|---------------------|--|-------------------|
| $LMA_{e,t,i, corr}$ | Temperatur- und geschwindigkeitskorrigierter | A-bewerteter |
| | Terzbandpegel eines Mikrophons bei einer Messfahrt | |
| η | Korrekturfaktor für Temperaturabweichungen | von der |
| | Referenzoberflächentemperatur (20°C) | |
| T | Fahrbahnoberflächentemperatur [°C] | |
| T_0 | Referenzoberflächentemperatur 20°C | |
| ε | Korrekturfaktor für Geschwindigkeitsabweichungen | von der gewählten |
| | Referenzgeschwindigkeit | |
| v | Fahrgeschwindigkeit [km/h] | |
| v_0 | Referenzgeschwindigkeit [km/h] | |

Die beiden Korrekturfaktoren sind laut RVS 11.06.64 in den folgenden Tabellen angeführt.

Tabelle 1: Korrekturfaktor η gemäß RVS 11.06.64 [14]

| ΔT in °C | η in dB |
|-------------------------|--------------|
| $-10 \leq \Delta T < 0$ | 0,10 dB |
| $0 \leq \Delta T < 20$ | 0,07 dB |

mit:

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

Tabelle 2: Korrekturfaktor ε gemäß RVS 11.06.64 [14]

| Referenzgeschw. V_0 in km/h | ε in dB | | |
|----------------------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------------|
| | Zementbeton Waschbeton | Drainasphalt | Dünnschichtbeläge Asphaltbeton |
| $27 < V_0 \leq 50$ | 0,18 dB | 0,16 dB | 0,19 dB |
| $50 < V_0 \leq 70$ | 0,18 dB | 0,16 dB | 0,19 dB |
| $70 < V_0 \leq 80$ | 0,24 dB | 0,21 dB | 0,25 dB |
| $80 < V_0 \leq 90$ | 0,27 dB | 0,16 dB | 0,25 dB |
| $90 < V_0 \leq 105$ | 0,11 dB | 0,09 dB | 0,12 dB |

3.2.2 Messungen nach ISO/CD 11819- 2 (CPX)

Das Messverfahren nach ISO/CD 11819-2, kurz CPX- Verfahren genannt, hat im Wesentlichen das gleiche Prinzip wie die vorher beschriebene Messmethode, nämlich die Erfassung des Schalldruckpegels im Nahbereich des Reifen – Fahrbahn Kontaktes.

Die Messung erfolgt mittels eines Messanhängers. Das Messfahrzeug von IFS Ziviltechniker GmbH (siehe Abbildung 15) ist ein Einrad-Anhänger mit einer kastenförmigen Abdeckhaube, die innen schallabsorbierend ausgekleidet ist. So werden, wie bei der Messeinrichtung gem. RVS 11.06.64, einerseits äußere Schallquellen abgeschirmt und andererseits innen Reflexionen vermindert. Um Störgeräusche vom Zugfahrzeug zu vermeiden, wird weiters der Auspuff nach oben gezogen.



Abbildung 15: Rollgeräuschmessanhänger von IFS Ziviltechniker GmbH [19]

Da sich die ISO/CD 11819-2 im Status einer Vornorm befindet, sind einzelne Parameter noch nicht exakt festgelegt. Grundsätzlich werden die Messungen mit mindestens zwei Mikrofonen durchgeführt, angeordnet unter 45° zur Rollrichtung des Testreifens. Die genaue Anordnung der Messmikrophone ist in Abbildung 16 dargestellt.

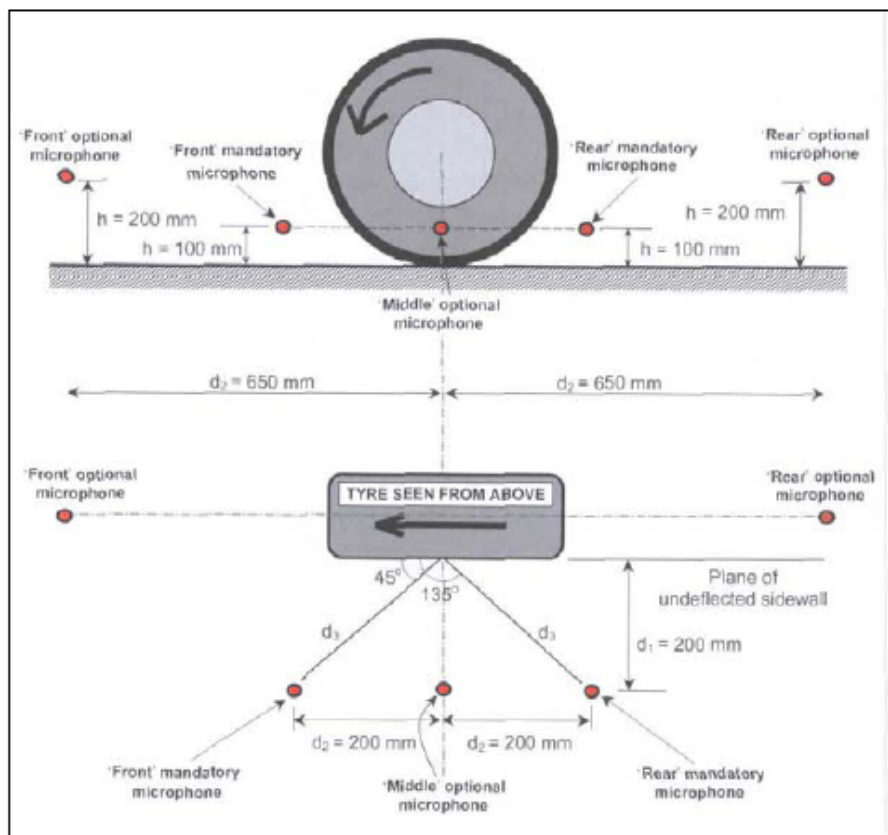


Abbildung 16: Prinzipdarstellung der Mikrofonpositionen beim CPX – Verfahren [19]

Als Testreifen werden vier verschiedenen Reifentypen verwendet, die so gut wie möglich die aktuelle Reifenpopulation repräsentieren sollen. Sie sind in Abbildung 17 dargestellt.



Abbildung 17: Gemäß ISO/CD 11819-2 verwendete Testreifen von IFS Ziviltechniker GmbH [19]

- 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

Während der Durchführung der Messungen müssen jegliche Störgeräusche mindestens 10 dB unter dem Messsignal liegen. Pro Messstrecke werden mindestens zwei aufeinander folgende Messfahrten durchgeführt, wobei sich die Ergebnisse um nicht mehr als 0,5 dB unterscheiden dürfen. Die Messgeschwindigkeit ist während der Messfahrt auf $\pm 20\%$ oder ± 15 km/h (strengere Bedingung gilt) genau konstant zu halten. Als Referenzgeschwindigkeiten werden 50 km/h für Innerortsmessungen, 80 km/h für Messungen an Freilandstraßen und 110 km/h für Messungen an Autobahnen empfohlen.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt in 20 m langen Abschnitten, die zu längeren Messstrecken zusammengefasst werden können. Bei Abweichungen der Fahrgeschwindigkeit von der gewählten Referenzgeschwindigkeit ist eine Pegelkorrektur durchzuführen. Sie kann mit der folgenden Formel vorgenommen werden:

$$L_{\text{corr}} = L_{\text{meas}} - 35 \cdot \lg\left(\frac{v}{v_{\text{ref}}}\right) \quad (3.3)$$

mit:

| | |
|-------------------|--|
| L_{corr} | geschwindigkeitskorrigierter Schallpegel [dB(A)] |
| L_{meas} | gemessener Schallpegel [dB(A)] |
| v | tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit [km/h] |
| v_{ref} | vorgegebene Referenzgeschwindigkeit [km/h] |

Als Ergebnis der Messung wird ein sogenannter Close Proximity Index (CPXI) errechnet. Er ist ein energetisch gemittelter Schallpegel der vier Reifen A, B, C und D (für Abnahmemessungen) oder der zwei Reifen A und D (für Überblicksmessungen) und wird mittels Verwendung von Gewichtungsfaktoren bestimmt.

- Berechnungsformel des CPXI – Index für Abnahmemessungen:

$$\text{CPXI} = 0,2 \cdot L_A + 0,2 \cdot L_B + L_C + 0,4 \cdot L_D \quad (3.4)$$

- Berechnungsformel des CPXI – Index für Überblicksmessungen:

$$\text{CPXI} = 0,5 \cdot L_A + 0,5 \cdot L_D + 0,5 \quad (3.5)$$

mit:

| | |
|-------|--|
| CPXI | Close Proximity Index |
| L_A | energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens A |
| L_B | energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens B |
| L_C | energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens C |
| L_D | energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens D |

Nahfeldgeräuschmessungen mittels Rollgeräuschmessaanhänger haben den Vorteil, dass sie eine relativ einfache Anwendung ermöglichen. Außerdem besteht die Möglichkeit, über lange Streckenabschnitte den Rollgeräuschpegel messen zu können. Aber es muss auch in Betracht gezogen werden, dass derartige Messungen nur den Reifen-Fahrbahnkontakt berücksichtigen, alle anderen Einflussgrößen, die die Lärmsituation vor Ort beschreiben, werden durch die Verwendung des schalldichten Anhängers nicht einbezogen.

3.3 Vorbeifahrtmessungen

Dieses Verfahren ist nach EN ISO 11819-1 [20] geregelt, Statistical Pass-By-Verfahren genannt und wird zum Vergleich des Verkehrsgeräusches auf unterschiedlichen Straßenoberflächen bei verschiedenen Verkehrszusammensetzungen verwendet. Dadurch gibt es die Möglichkeit, verschiedene Arten von Fahrbahndeckschichten schalltechnisch mit einander vergleichen zu können. Prinzipiell wird diese Methode entweder zur Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten bezüglich ihrer Einflüsse auf das Verkehrsgeräusch oder zur Bewertung des Einflusses verschiedener Fahrbahnschichten auf das Verkehrsgeräusch eingesetzt.

SPB-Messungen gem. EN ISO 11819-1 werden als gültig betrachtet, wenn sie bei konstanten Geschwindigkeiten von mindestens 50 km/h und frei fließendem Verkehr durchgeführt wurden. Dabei werden die maximalen A-bewerteten Schalldruckpegel und die zugehörigen Geschwindigkeiten einer gewissen Anzahl von Fahrzeugen während ihrer Vorbeifahrt am Messpunkt gemessen. Die untersuchten Fahrzeuge werden in drei unterschiedliche Kategorien eingeteilt:

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

Die Messung erfolgt mit einem Mikrophon, das in der Höhe von 1,2 m über dem Niveau der Fahrbahnoberfläche und in einem Abstand von 7,5 m von der Achse des gemessenen Fahrstreifens aufgestellt ist (siehe Abbildung 18).

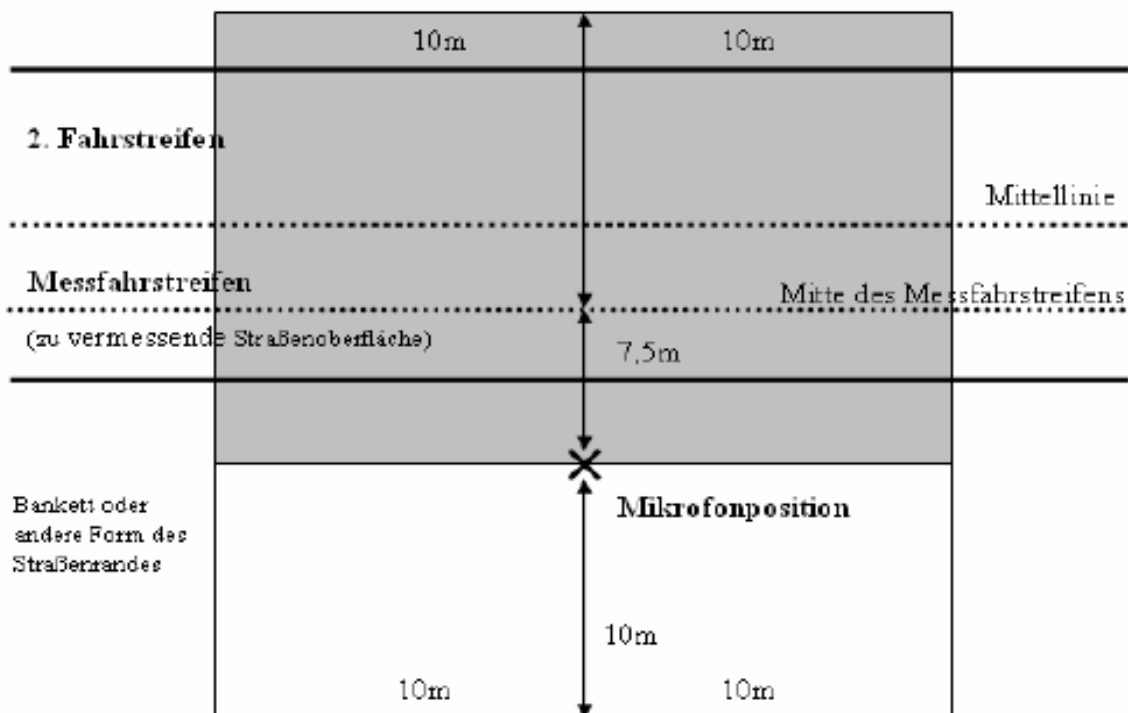


Abbildung 18: SPB-Messanordnung [19]

Während der Messung darf die Windgeschwindigkeit in Mikrofonhöhe 5 m/s nicht überschreiten. Außerdem muss die Lufttemperatur zwischen 5 und 30°C liegen. Die Messstrecke muss eine mindestens 60 m (bei hoher Geschwindigkeit 100 m) lange gerade Strecke ohne wesentliche Steigung mit homogener, trockener Fahrbahnoberfläche sein und sich in einem guten Zustand befinden. Akustisch reflektierende Hindernisse wie Lärmschutzwände, Leitplanken oder Betonleitwände dürfen in einem Bereich, der sich 10 m links und rechts von der Mikrofonstelle erstreckt, sowie bis 10 m hinter der Mitte des untersuchten Fahrstreifens, nicht vorhanden sein.

Die untersuchten Straßen werden zur Auswertung in drei Geschwindigkeitsklassen eingeteilt:

- Niedrig: Geschwindigkeit im Rahmen von 45 – 64 km/h
- Mittel: Geschwindigkeit im Rahmen von 65 – 99 km/h
- Hoch: Geschwindigkeit über 100 km/h

In Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsklasse und der Art der Fahrzeugkategorie wird eine Referenzgeschwindigkeit festgelegt (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Referenzgeschwindigkeiten und zugehörige Bewertungsfaktoren W_x [20]

| Fahrzeug – kategorie | | Geschwindigkeitsklasse der Straße | | | | | |
|-------------------------|----|---|-------|---|-------|---|-------|
| | | Niedrig | | Mittel | | Hoch | |
| Bezeichnung | Nr | Referenz- geschwindig- keit [km/h] | W_x | Referenz- geschwindig- keit [km/h] | W_x | Referenz- geschwindig- keit [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 |
| Mehrachige Lkw | 2b | 50 | 0,025 | 70 | 0,100 | 85 | 0,225 |

Weiters sind die Anforderungen an den Verkehr zu beachten. Die Verkehrsdichte sollte nicht zu niedrig sein, sonst wird eine sehr lange Messzeit erforderlich. Andererseits sind bei zu hoher Verkehrsdichte die verschiedenen Fahrzeuge nicht mehr akustisch trennbar. Zwischen zwei Vorbeifahrten nacheinander fahrender Fahrzeuge muss der Schalldruckpegel um mindestens 6 dB absinken, damit die gemessenen Fahrzeuge in die Analyse aufgenommen werden können. Außerdem muss noch sichergestellt werden, dass der Gegenverkehr oder Fahrzeuge mit ungewöhnlichen Lärmentwicklungen die Messung nicht stören.

Die Auswertung dieser Messmethode verläuft aufgrund der Aufzeichnung der Geschwindigkeit für jede einzelne Vorbeifahrt. Über dem Logarithmus der Geschwindigkeiten wird für jede Fahrzeugkategorie eine Regressionsgerade des maximalen Geräuschpegels errechnet. Durch diese wird der Fahrzeuggeräuschpegel L_{veh} für die Referenzgeschwindigkeit bestimmt. Der statistische SPB-Index repräsentiert schließlich eine Einzahlangabe der Messung und wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$SPBI = 10 \lg \left[W_1 \cdot 10^{0,1 \cdot L_1} + W_{2a} \cdot \left(\frac{v_1}{v_{2a}} \right) \cdot 10^{0,1 \cdot L_{2a}} + W_{2b} \cdot \left(\frac{v_1}{v_{2b}} \right) \cdot 10^{0,1 \cdot L_{2b}} \right] \quad (3.6)$$

mit:

| | |
|----------------------------|--|
| SPBI | Statistischer Vorbeifahrtindex für eine Standardzusammensetzung aus Pkw und Lkw |
| L_1, L_{2a} und L_{2b} | Fahrzeuggeräuschpegel der Kategorien 1, 2a und 2b |
| W_1, W_{2a} und W_{2b} | Bewertungsfaktoren nach Abbildung 3-8, die den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorien am Verkehrsaufkommen je Geschwindigkeitsklasse entsprechen |
| v_1, v_{2a} und v_{2b} | Referenzgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeugkategorien |

Um sicher sein zu können, dass die zufälligen Abweichungen der Messergebnisse nicht zu groß werden, muss folgende Mindestzahl an Fahrzeugen gemessen werden:

| | |
|-----------------|--------------------------|
| PKW | mindestens 100 Fahrzeuge |
| zweiachsige LKW | mindestens 30 Fahrzeuge |
| mehrachsig LKW | mindestens 30 Fahrzeuge |

Bei Abweichungen von der in der ISO-Norm geforderten Fahrbahnoberflächentemperatur von 20°C erfolgt eine Temperaturkorrektur nach der Formel:

$$L_R(20^\circ\text{C}) = L_R(T) + K \cdot (20^\circ\text{C} - T) \quad (3.7)$$

mit:

| | |
|-------------------------|--|
| T | Temperatur der Fahrbahnoberfläche bei der Messung [°C] |
| $L_R(T)$ | gemessener Lärmpegel bei der Temperatur T [°C] |
| $L_R(20^\circ\text{C})$ | korrigierter Lärmpegel |
| K | Korrekturfaktor |

Der Korrekturfaktor K ist abhängig von der Reifenklasse der verwendeten Reifen:

- Für Reifen der Klasse C1 beträgt
 $K = -0,03 \text{ dB(A) / } ^\circ\text{C}$ für $T > 20^\circ\text{C}$
 $K = -0,06 \text{ dB(A) / } ^\circ\text{C}$ für $T < 20^\circ\text{C}$

- Für Reifen der Klasse C2 beträgt
 $K = -0,02 \text{ dB(A) / } ^\circ\text{C}$

- Für Reifen der Klasse C3 erfolgt keine Temperaturkorrektur

Die verwendete Reifeneinstufung ist aus den folgenden Reifenklassen zusammengesetzt:

- Klasse C1: Reifen für Personenkraftwagen;
- Klasse C2: Reifen für Nutzfahrzeuge mit einer Tragfähigkeitskennzahl für Einzelanordnung ≤ 121 und einem Symbol für die Geschwindigkeitskategorie \geq „N“
- Klasse C3: Reifen für Nutzfahrzeuge mit einer Tragfähigkeitskennzahl für Einzelanordnung ≤ 121 und einem Symbol für die Geschwindigkeitskategorie \geq „M“ und Reifen für Nutzfahrzeuge mit einer Tragfähigkeitskennzahl für Einzelanordnung ≤ 122

Vorbeifahrtmessungen haben den Vorteil, die von vorbeifahrenden Fahrzeugen an einem Messpunkt erzeugten Schallimmissionen ausführlich zu erfassen. Allerdings sind das nur Punktmessungen – sie erläutern die Lärmsituation nur am Messplatz und es werden keine längeren Streckenabschnitte behandelt. Außerdem sind laut ISO 11819-1 sehr strenge Anforderungen an den Messplatz und an die Umgebungsbedingungen gefordert. Es ist somit nicht unbedingt einfach, eine geeignete Messstelle zu finden. Ebenfalls darf auch der Zeitaufwand zur Durchführung der Vorbeifahrtmessungen nicht vernachlässigt werden. Er ist ziemlich hoch, weil nur jene Vorbeifahrten zur Berechnung der SPB-Indexes aufgenommen werden dürfen, die eine Schallpegeldifferenz von mindestens 6 dB zueinander aufweisen. Ansonsten müssen die Ergebnisse verworfen werden.

4. LÄRMSCHUTZMASSNAHMEN

4.1 Allgemeines

Die Wirkungsweise der Lärmschutzmaßnahmen äußert sich in Erzielung einer gewissen Reduktion der Lärmemissionen und -immissionen. Eine häufig angewandte Methode ist die Verminderung der Schallemissionen genau am Entstehungsort, direkt an der Schallquelle. Bei den so genannten aktiven Schallschutzmaßnahmen findet eine Reduktion der Schallemissionen direkt am Entstehungsort statt, das Lärminderungspotenzial wird somit durch Maßnahmen am Reifen, im Fahrzeugbau und an der Fahrbahndeckschicht erzielt. Das Vorbeifahrtgeräusch eines Fahrzeuges besteht vorwiegend aus dem Reifen-Fahrbahn Geräusch (Rollgeräusch), Geräuschen des Fahrzeugantriebes bzw. der Abgasanlage und bei größeren Geschwindigkeiten auch aus Geräuschen aus aerodynamischen Schwingungen. Die dargestellte Abbildung 19 zeigt den Verlauf von Lärmemissionen des Reifen-Fahrbahngeräusches und des Motorgeräusches für verschiedene Geschwindigkeiten und deren Einfluss auf das gesamte Geräuschereignis. Ab einer Fahrgeschwindigkeit von 30-40 km/h beim Pkw ist das Reifen-Fahrbahn Geräusch deutlich dominierend.

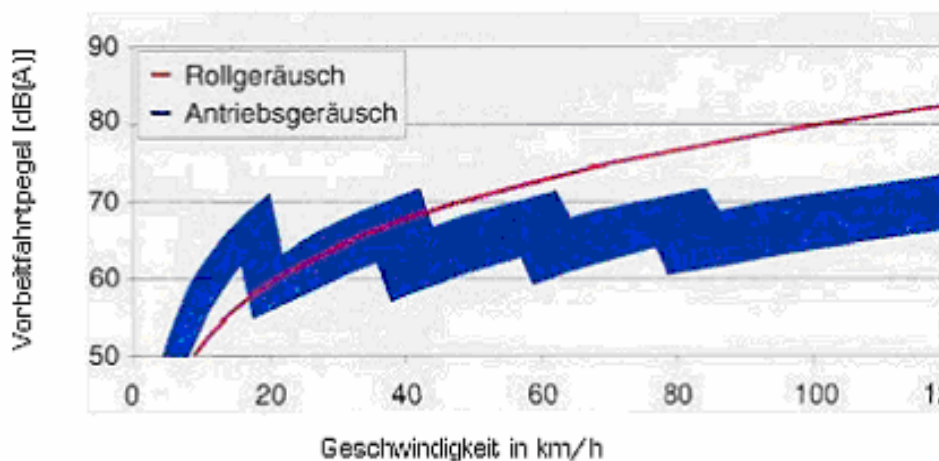


Abbildung 19: Einfluss von Reifen-Fahrbahngeräusch und Motorgeräusch auf das gesamte Geräuschereignis [8]

Grundsätzlich wird der Einfluss des Reifens auf das Reifen-Fahrbahngeräusch durch das Laufflächenprofil, den Reifenaufbau, das Material und die Reifenabmessungen bestimmt. Mehr Information über den Reifeneinfluss auf das Vorbeifahrtgeräusch findet sich zum Beispiel im Schlussbericht des EU-Projektes SILVIA (siehe [23]).

Der Einsatz spezieller Reifentypen (lärmmindernde Reifen) kann ebenfalls zu einer Lärmverminderung führen (1-2 dB). Abbildung 20 zeigt die zusammenfassenden Resultate von 18 Fahrzeug-Reifen-Kombinationen, die die Vorbeifahrtgeräuschsituation für Vorbeifahren mit Geschwindigkeiten von 80 und 55 km/h und für eine beschleunigte Fahrt im zweiten und dritten Gang veranschaulichen. Die punktierten Säulen zeigen die Varianz der Messergebnisse für den Einfluss von verschiedenen Reifen-Fahrzeugkombinationen auf das Gesamtvorbeifahrtereignis auf 6 verschiedenen Deckschichttypen [21].

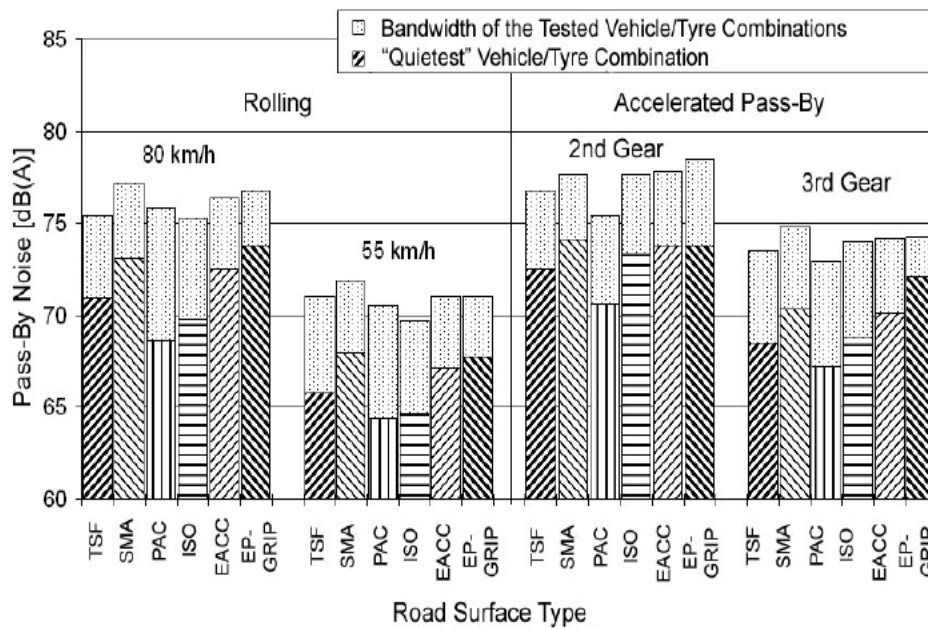


Abbildung 20: Einfluss von verschiedenen Reifen-Fahrzeugkombinationen auf das Gesamtvorbeifahrtereignis auf 6 verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen [21]

Andererseits wird ein Lärminderungspotenzial in der Verwendung von alternativen Antriebssystemen, oder Veränderungen am Motor- und Getriebesystem gesucht und auch gefunden. Das Antriebsgeräusch hängt von der Motordrehzahl und der Motorbelastung ab. Abbildung 21 zeigt die Vorbeifahrtpegelentwicklung von Diesel-, Elektro- und Hybridfahrzeugen. Es ist sichtbar, dass gerade bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten ($v < 50$ km/h) ein Reduktionspotenzial von 5 dB(A) bis maximal 15 dB(A) möglich ist.

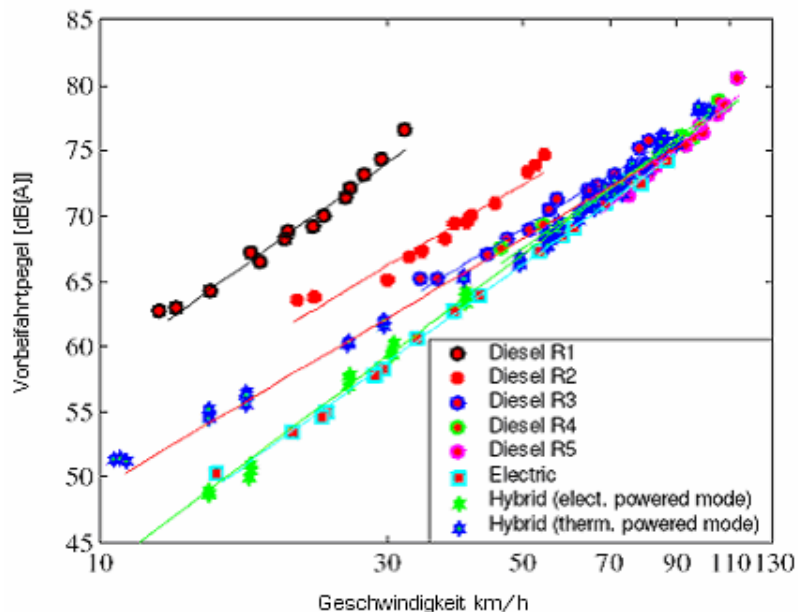


Abbildung 21: Lärminderungspotenzial alternativer Antriebssysteme [8]

Kapselungsmaßnahmen am Motor bewirken eine Verminderung der seitlichen Schallabstrahlung. Sie bestehen aus einer speziell strukturisierten Vliesverkleidung oberhalb und seitlich des Motors und aus einer Abdichtung von der Frontschürze bis hinter das Getriebe. Weitere Geräuschreduktionen können durch eine Feinabstimmung des Antriebsstranges oder auch durch eine Schwingungsisolation der Anbauteile und Gelenkwellen erzielt werden.

Die Fahrbahnoberfläche, und vorwiegend deren Oberflächentextur, beeinflusst das Geräusch des Fahrzeuges am Entstehungsort. Dies ist ein wichtiger Einflussparameter bei der Entwicklung von lärmindernden Deckschichten. Sie werden im folgenden Kapitel 4.2 ausführlich betrachtet.

4.2 Lärmindernde Deckschichten

4.2.1 Grundsätzliches

Bei der Entwicklung von lärmindernden Deckschichten werden zwei Arten der Optimierung angewandt:

- Die „texturoptimierte“ dichte Deckschicht
- Die offenporige Deckschicht

Den Hintergrund einer Deckschichtoptimierung hinsichtlich Lärmreduktion stellen die schallanregenden Ereignisse dar, die geschwindigkeitsabhängig im Kontaktbereich zwischen Reifen und Fahrbahn stattfinden (siehe Abbildung 22).

Die Verformung durch den Rollvorgang des Reifens führt zu einer lokalen Änderung der dynamischen Steife und damit zu einer mechanischen Schwingungsanregung des Reifens. Ebenso sind die Profilklotze im Kontaktbereich mit dieser Schwingungsanregung verbunden. Die Klötze werden beim Abrollen unter Einwirkung großer tangentialer und radialer dynamischer Kräfte verformt, was wiederum zur Anregung von Schwingungen führt. Wenn der Profilklotz keinen Kontakt mehr mit der Fahrbahnoberfläche hat, schwingt er sowohl in radialer als auch in tangentialer Richtung. Adhäsionskräfte und Gleitreibungseffekte (stick-snap bzw. stick-slip Effekte) zwischen Profilklotzen und Fahrbahn können diese Effekte verstärken. Eine geringe Rauigkeitstiefe der Fahrbahndeckschicht ist eine gute Voraussetzung dafür, die mechanische Anregung des Reifens im tieffrequenten Bereich zu reduzieren, d.h. eine glatte Oberfläche würde diese Aufgabe ideal ausführen.

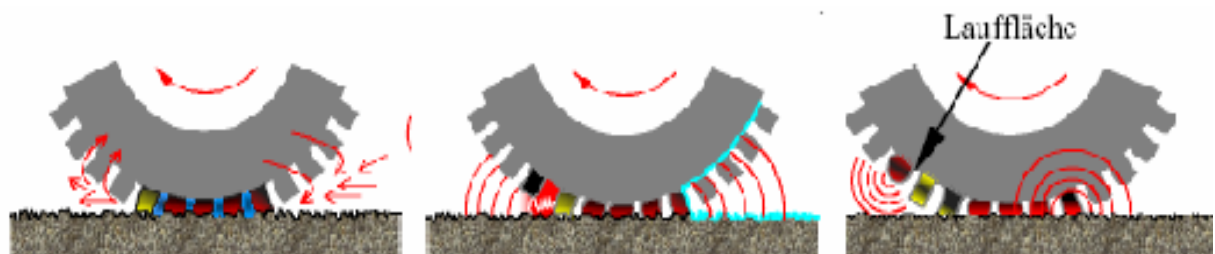


Abbildung 22: Air-pumping Effekt (links); Schallabstrahlung (mitte); mechanische Schwingungen des Reifens (rechts) [9]

Luft ist ein kompressibles Medium. Dadurch kann es zu einer aerodynamischen Schwingungsanregung kommen, wenn die Luft in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn verdrängt und bei hohem Staudruck in den Hohlräumen komprimiert wird. Rollt der Reifen weiter, kommen diese Hohlräume wieder frei und die eingeschlossene Luft wird explosionsartig entspannt (Air-pumping Effekt). Je dichter die Profilrillen von der Fahrbahn abgeschlossen sind, desto größer wird die dadurch hervorgerufene Schallabstrahlung. Eine glatte Oberfläche würde hier somit den ungünstigsten Fall repräsentieren.

Die mechanischen und aerodynamischen Schwingungsanregungen des Reifens führen also zu gegenläufigen Effekten. Während die Air-pumping Effekte durch eine glatte und dichte Fahrbahnoberfläche geräuschansteigende Tendenzen zeigen, werden die Membranschwingungen des Reifens unter denselben Bedingungen verringert. Bei der Ausbildung von lärmindernden Deckschichten werden diese Überlegungen beachtet und es wird versucht, eine Kompromisslösung zu erzielen.

Bei den „texturoptimierten“ dichten Deckschichten wird angestrebt, einerseits die Schwingungsanregung des Reifens gering zu halten und andererseits noch genug Raum für die Entlüftung des Reifenprofils zu gewährleisten. Aus diesem Grund wird versucht, die Texturwellenlängen zu verkleinern (siehe Abbildung 23). Grundsätzlich sind konkave Texturen anzustreben, die auch den Anforderungen der Fahrbahngriffigkeit entsprechen. Abbildung 24 stellt Beispiele für texturoptimierte dichte Deckschichttypen dar.

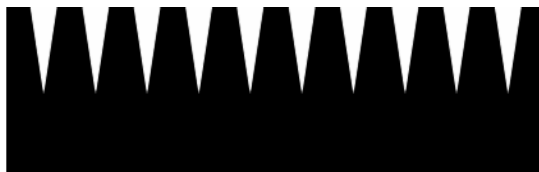


Abbildung 23: konkave Textur („Plateaus mit Schluchten“) [9]



Abbildung 24: Texturoptimierte dichte Deckschichttypen: EP-GRIP (oberflächenbehandelte Betondecke), Waschbeton und Splittmastixasphalt [9]

Die lärmindernde Wirkung von offenporigen Deckschichten basiert gleichzeitig auf der Ausbildung einer speziellen Textur und auf den schallabsorbierenden Eigenschaften der Deckschicht. Diese Absorptionswirkung wird durch eine Erhöhung des Hohlraumgehaltes erreicht und führt zu niedrigen Lärmemissionen im Vergleich zu dichten Deckschichten. In Abbildung 25 kann der Drainasphalt als ein Beispiel für die offenporigen Deckschichten betrachtet werden.



Abbildung 25: Offenporiger Deckschichttyp- DA 11 [22]

Im Folgenden werden die in Österreich standardmäßig verwendeten lärmindernden Deckschichttypen kurz erläutert.

4.2.2 Lärmindernde Betondecken

Ein wesentlicher Beitrag für die Reduktion der Lärmemission von Betondecken ist die Verwendung eines Längsglätters (siehe Abbildung 26). Seine Grundaufgabe ist es, die von der Fertigerbohle hinterlassenen Querwellen auszugleichen. Akustisch betrachtet liegen diese Querwellen in jenem Makro- und Megatexturbereich, durch den die Reifen zu Schwingungen angeregt werden bzw. eine Geräuschabstrahlung stattfindet.



Abbildung 26: Beispiel eines Längsglätters [23]

Als zusätzliche Maßnahme ist die Herstellung einer entsprechenden Oberflächenstruktur (Textur) zur Sicherstellung der Griffbarkeit erforderlich. Dies geschieht z. B. durch einen Längsbesenstrich (siehe Abbildung 27), der sich auch akustisch positiv auswirkt.

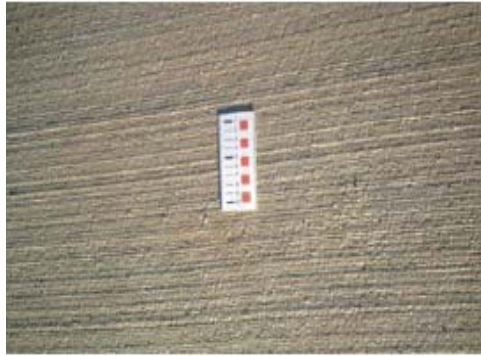


Abbildung 27: Beispiel für Oberflächenstrukturierung von Betondecken (Längsbesenstrich) [22]

Die aktuellste Entwicklung von lärmindernden Betonoberflächen ist der Waschbeton. Dabei werden für die obere Schicht speziell widerstandsfähige Gesteine verwendet. Die untere Schicht kann mit konventionellem Straßenbeton gebaut werden, wobei die Verwendung von rezyklierten Betonmaterialien ebenfalls möglich ist.

Das Waschbetonbauprinzip kann mit folgenden Schritten beschrieben werden: Erstens wird auf die frisch hergestellte Betondecke durch Aufsprühen eines Abbindeverzögerers das Abbinden der obersten Schicht verhindert. Eine Kunststoffolie wird als Verdunstungsschutz verwendet, die blasenfrei über die ganze Betonfläche aufgelegt werden muss. Nach einer gewissen Abbindezeit von 12 – 16 Stunden werden die Scheinfugen durch die Folie geschnitten. Die verwendete Folie wird ungefähr 24 bis 30 Stunden nach dem Betonieren entfernt. Der Oberflächenmörtel wird durch geeignete Verfahren ausgebürstet, wodurch die groben Zuschläge in der oberflächennahen Zone frei gelegt werden. Zur Verhinderung eines raschen Austrocknens des Betons wird ein Nachbehandlungsmittel zusätzlich aufgesprüht. Die nachbehandelte Fläche darf 2 Tage nicht befahren werden [22]. Die Abbildung 28 stellt ein Beispiel einer Waschbetondeckschicht dar.



Abbildung 28: Beispiel für eine Waschbetondecke [23]

Die in der RVS 08.17.02 [24] geforderten Profilspitzenabstände an der Oberfläche bewirken eine ausreichende Entlüftung der Profilirillen und verhindern gleichzeitig die Reifenschwingungen. Das ermöglicht eine Verminderung des Lärmpegels um mindestens 2 dB(A), wenn ein Vergleich zwischen Waschbeton- und herkömmlichen Betondecken gemacht wird [23].

Durch eine spezielle Oberflächenbehandlung herkömmlicher alter Betondecken kann ebenfalls eine lärmindernde Betondeckschicht erzeugt werden, die durch eine akustisch günstige Oberflächentextur die Reifenschwingungen reduziert und die Air-

pumping Effekte vermindert. Durch die Verwendung von Abstreusplitt der Körnung 3/4 mm kann ein geringerer Profilsitzenabstand erzeugt werden, der die erforderlichen Bedingungen für akustisch günstige Deckschichten gewährleistet [22]. Allerdings können Erhöhungen des Lärmpegels, die durch Unebenheiten der Betonunterlage im Megatexturbereich entstehen, nicht vermieden werden. Die Lärminderungspotenziale dieser Art von Deckschichten hängen grundsätzlich vom jeweiligen Ebenheitszustand der Unterlage ab.

4.2.3 Lärmindernde Dünnschichtdecken

Dünnschichtdecken sind dünne Asphaltdecken, die im Zuge von Erhaltungsmaßnahmen auf Beton und Asphaltunterlagen eingebaut werden. Sie dienen der Erhöhung der Griffbarkeit, der Versiegelung ausgemagelter Schichten, der Wiederherstellung der Ebenheit und haben in der Regel eine Schichtdicke von 25 mm. Aus diesem Grund wird das Gesteinsgerüst nur mit Größtkorn 4 und 8 mm ausgebildet und es werden nur polymermodifizierte Bindemittel verwendet.

In Abhängigkeit vom Bauprinzip (dicht oder offenporig) spielt sowohl die Oberflächentextur als auch der Hohlraumgehalt eine bestimmte Rolle an der lärmindernden Wirkung dieser Deckschichten. Bei dichten Decken wird versucht, einen möglichst geringen Profilsitzenabstand einzuhalten, damit die Reifenschwingungen verringert werden können. Die offenporigen Dünnschichtdecken sollen durch die hohlraumreiche Struktur Profileresonanzen und Air-pumping Effekte vermindern. Auf Grund der kleinen und rasch verstopften Poren wird keine Absorptionsmöglichkeit erwartet. Die Wasserableitung erfolgt bei LDDH an der Oberfläche. In Abbildung 29 ist ein Beispiel für eine lärmindernde Dünnschichtdecke zu erkennen.



Abbildung 29: Beispiel für eine lärmindernde Dünnschichtdecke [22]

Mit einem Lärminderungspotenzial von rund 6 dB(A) im Vergleich zu herkömmlichen Betondecken und rund 3 dB(A) zu herkömmlichen Asphaltbetondecken stellen sie einen wichtigen Faktor bei der Lärminderung im Straßenverkehr dar [17].

4.2.4 Drainasphalt (DA)

Drainasphalt ist ein offenporiger Deckschichttyp, der sich durch einen Hohlraumgehalt von mehr als 17 Vol.-% auszeichnet (gem. RVS 08.97.05 [25]). Der hohe Hohlraumgehalt wird durch die spezielle Zusammensetzung des Mischgutes erreicht, wobei Körner aus dem jeweiligen Größtkornbereich den größten Bestandteil aufweisen. Dieser Einsatz eines Monokorngerüsts trägt zu einer Verringerung des Korn-zu-Korn

Kontakts und gleichzeitig zu einer reduzierten Kontaktfläche Reifen-Fahrbahndeckschicht bei. Das führt zu höheren Anforderungen an das verwendete Bindemittel. Aus diesem Grund dürfen für Drainasphalte nur hochmodifizierte Bindemittel verwendet werden.

Grundsätzlich haben offenporige Beläge eine andere Bauweise als dichte Fahrbahndecken. Der größte Unterschied ergibt sich durch unterschiedlich verwendete Sieblinien (siehe Abbildung 30). Als Resultat der erzielten Hohlraumgehalte erfolgt die Entwässerung innerhalb der Drainasphaltdeckschicht, nicht an der Oberfläche wie bei dichten Deckschichten.

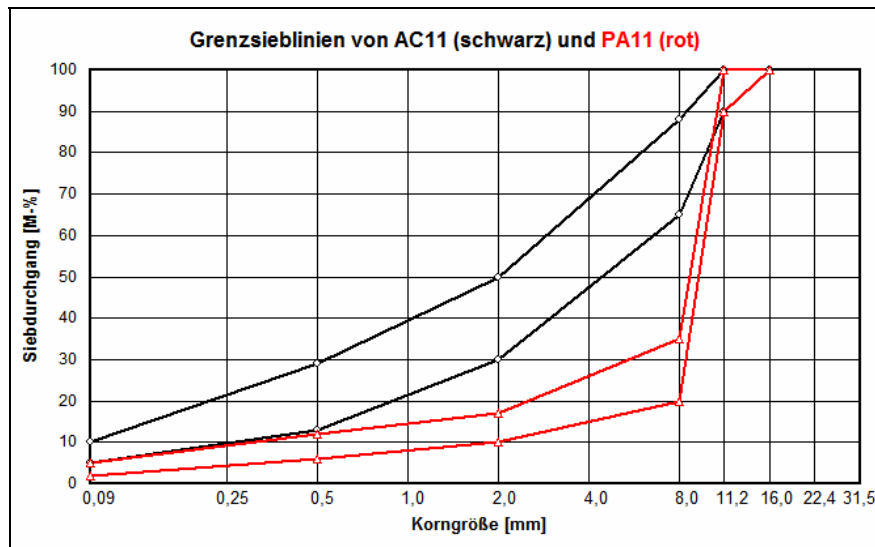


Abbildung 30: Vergleich der Grenzsieblinien von AC11 und PA11 (Porous asphalt = Drainasphalt) [9]

In Abbildung 31 sind mögliche Aufbauarten von Drainasphaltdeckschichten dargestellt. Sie können einschichtig – aus einer Mischgutsorte oder zweischichtig – aus zwei verschiedenen Mischgutsorten eingebaut werden. Abbildung 32 zeigt Beispiele für die Körnung der unteren und oberen Schichten.

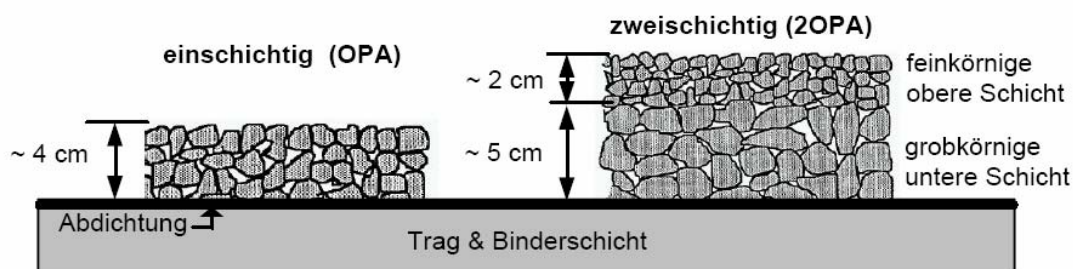


Abbildung 31: Aufbauarten von Drainasphalt (OPA = offenporiger Asphalt) [26]

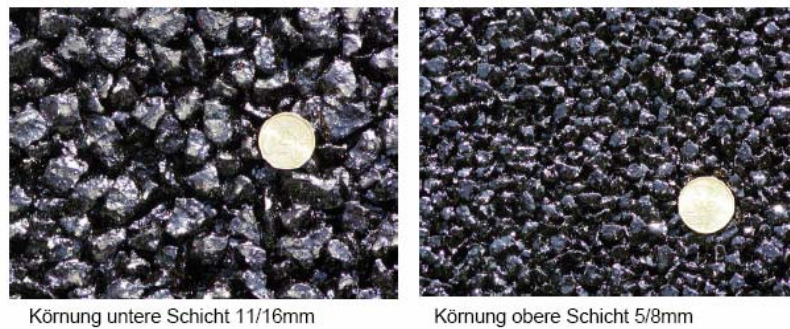


Abbildung 32: Beispiele für Drainasphalte [26]

Offenporige Deckschichten besitzen auf Grund ihres speziellen Aufbaues zwei besondere Fähigkeiten:

- Drainage
- Lärminderung

Die Hohlräume verringern das Zusammenpressen der Luft im Reifenprofil und absorbieren gleichzeitig Geräusche aus dem Reifen-Fahrbahn-Kontakt, ebenso wie Antriebsgeräusche. Außerdem werden Reifen nur zu geringen Schwingungen und auch zu geringer Schallabstrahlung angeregt (siehe Abbildung 33). Der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel kann um mindestens 3 dB(A) gegenüber Asphaltbetondecken und um mind. 6 dB(A) gegenüber älteren Betondecken (mit Größtkorn 22 mm) vermindert werden. Gleichzeitig wird durch den DA das Frequenzspektrum der Lärmemissionen verändert, es findet eine Verschiebung zu niedrigeren Frequenzen statt. Das beeinflusst das Klangbild positiv und vermindert zusätzlich die Störwirkung auf den Menschen [27].

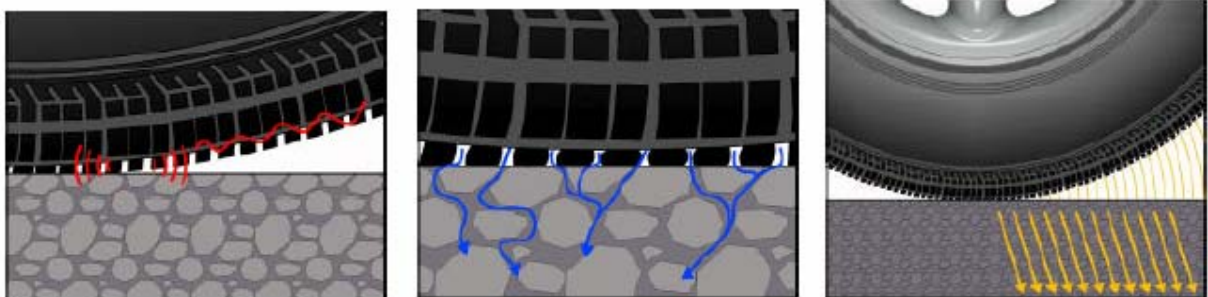


Abbildung 33: Geräuschemindernde Wirkungsweise der Drainasphaltdeckschichten [26]

Drainasphalt bietet als einzige lärmindernde Deckschicht noch die Möglichkeit, Wasser durch die Drainagewirkung rasch abzuleiten. In dieser Weise verbleibt bei normalen Niederschlagsereignissen kein Wasser auf der Fahrbahn und die Gefahr von Aquaplaning wird beträchtlich vermindert. Zusätzlich zählen noch die Möglichkeit der Reduktion von Sprühfahnenbildungen und gleichfalls die Verminderung der Lichtreflexionen zu den großen Vorteilen der Drainasphaltbauweise.

Allerdings weisen Drainasphaltdeckschichten im Vergleich zu dichten Deckschichten eine kürzere Lebensdauer auf. Verunreinigungen können in die frei zugänglichen Hohlräume gelangen und lagern sich dort ab. Ein Teil wird von den Niederschlägen abtransportiert, aber die verbleibenden Rückstände verstopfen die Hohlräume im

Laufe der Zeit und schließlich geht die Effektivität der Drainasphalte bezüglich Lärminderung und Drainage durch die verdichteten Poren verloren. Ebenso ist ein spezieller Winterdienst notwendig. Zum Beispiel darf keine Splittstreuung angewandt werden. Stattdessen werden auftauende Substanzen wie Streusalz (rein oder gemischt) eingesetzt.

Höhere Geschwindigkeiten gewährleisten eine Sogwirkung der Fahrzeuge und gewisse Schmutzpartikel werden dadurch von der Straße entfernt. Bei niedrigen Geschwindigkeiten ist dieser Selbstreinigungsvorgang nicht mehr vorhanden. Es erscheint daher nicht sinnvoll, in städtischen Bereichen, wo vornehmlich Sand oder Splitt gestreut wird, Drainasphaltdeckschichten einzusetzen [22].

4.2.5 Splittmastixasphalt (SMA)

Splittmastixasphalt ist ein dichter Belagstyp, der eine hohe Standfestigkeit aufweist. Die Kornzusammensetzung von SMA zeichnet sich durch einen möglichst hohen Grobsplittanteil (weitgehende Verringerung des Feinsplitts- und Sandanteils bei hohen Füllergehalten) aus. Heutzutage werden stabilisierende Zusätze wie z.B. organische und mineralische Faserstoffe und thermoplastische Kunststoffe verwendet. Die Oberflächentextur ist ähnlich wie bei Drainasphaltdeckschichten. Infolge des hohen Bindemittelgehaltes ist die Anfangsgriffigkeit niedriger als bei anderen Deckschichttypen. Typische SMA beinhalten 70-85% Grobsplittanteil, 5-14% Füller, 5-8% Bitumen und 0,3-0,4% Zusätze. Der Hohlraumgehalt liegt zwischen 2-8% [25].

Die Mischung des Asphaltgutes erfolgt unter genau definierten Temperaturen. Sie dürfen 180°C nicht überschreiten, andererseits würde das Bindemittel ablaufen. Das Mischgut soll möglichst kontinuierlich und zügig eingebaut werden. Abbildung 34 zeigt ein Schema des Splittmastixgerüsts und Abbildung 35 stellt verschiedene Beispiele für Splittmastixasphalte dar.



Abbildung 34: Schema des Splittmastixgerüsts [28]

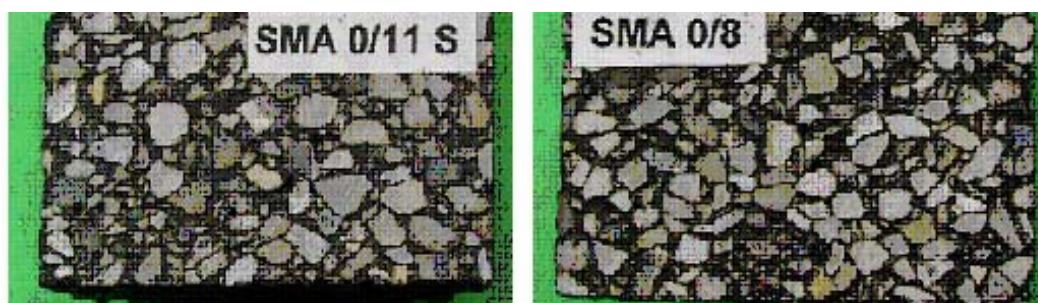


Abbildung 35: Beispiele für Splittmastixasphalte [28]

Ein lärmindernder Splittmastixasphalt (LSMA) unterscheidet sich im Wesentlichen von einem konventionellen SMA durch einen größeren Hohlraumgehalt. Dies wird

durch eine spezielle Zusammensetzung der Sieblinie erreicht. In Abbildung 36 ist ein Beispiel für einen lärmindernden Splittmastixasphalt zu erkennen.

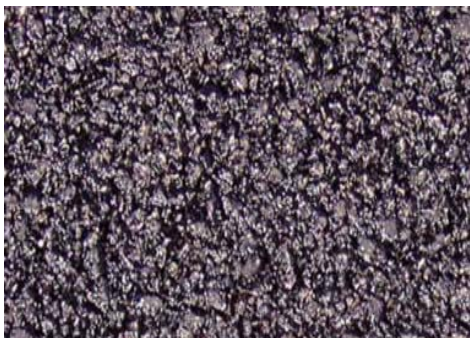


Abbildung 36: Beispiel für einen LSMA 8 [19]

Wenn richtig vorbereitet, hergestellt und eingebaut, weist der LSMA ausgezeichnete Fahrcharakteristika, großen Widerstand gegenüber dauerhaften Verformungen und Rissen, sowie Lärm- und Sprühfahnenreduktion auf. Wenn ein Vergleich zwischen LSMA und einer gewöhnlichen dichten Asphaltbetondecke gemacht wird, dann kann der erste, wenn er in gutem Zustand ist, ein Lärminderungspotenzial von 3 dB(A) entwickeln [23].

Splittmastixasphaltbeläge sind in der Herstellung normalerweise teurer als typische Asphaltbetondecken, weil sie mehr dauerhafte Splittanteile, einen hohen Asphaltgehalt und modifizierte Bindemittel erfordern. Trotzdem sind SMA wirtschaftlicher im Vergleich zu Drainasphalten, denn sie weisen einen erhöhten Widerstand gegen Rissbildungen und auch eine verbesserte Lebensdauer auf [23].

4.3 Lärmschutzeinrichtungen

4.3.1 Grundsätzliches

Wenn der Lärm bereits entstanden ist, müssen andere Arten von Lärmschutzmaßnahmen in Einsatz gebracht werden. Ihre Wirkungsweise äußert sich in der Behinderung oder in der Verhinderung der Schallausbreitung. Dies erfolgt mit der Verwendung von Lärmschutzeinrichtungen, die eine lärmabschirmende Funktion aufweisen. Zu dieser Gruppe gehören Lärmschutzwände, Lärmschutzwälle- und dämme. Reichen diese Maßnahmen nicht mehr aus, werden an hochbelasteten Straßen oder Autobahnen Einhausungen (Tunnel) als Lärmschutzmaßnahmen angewandt. In Österreich wird die Berechnung der Wirkung von Abschirmeinrichtungen zur Reduktion der Lärmbelastung durch den Straßenverkehr gemäß RVS 04.02.11 [29] durchgeführt.

4.3.2 Wirkungsweise einer geraden Lärmschutzwand

Wie bereits erwähnt, zeichnet sich eine Lärmschutzwand durch ihre abschirmende Wirkung aus. Hinter dem Hindernis bildet sich ein so genannter Schallschatten, in dessen Fläche eine Schallpegelminderung erreicht wird. Dabei ist die Schallpegelreduktion umso höher, je länger der „Umweg“ vom Entstehungs- bis zum Empfangsort ist. Ebenfalls muss beachtet werden, dass der Beugungseffekt der

Schallstrahlen an den Schirmkanten (obere und seitliche Kante) die Schattenwirkung vermindert. Der Schallstrahl krümmt sich um das Hindernis, so dass der Lärm trotz fehlender direkter Sichtlinie doch empfunden werden kann (siehe Abbildung 37). Je niedriger die Frequenz des verbreiteten Schalls ist, desto geringer sind die Beugung der Schallwellen und damit der Abschirmungseffekt.

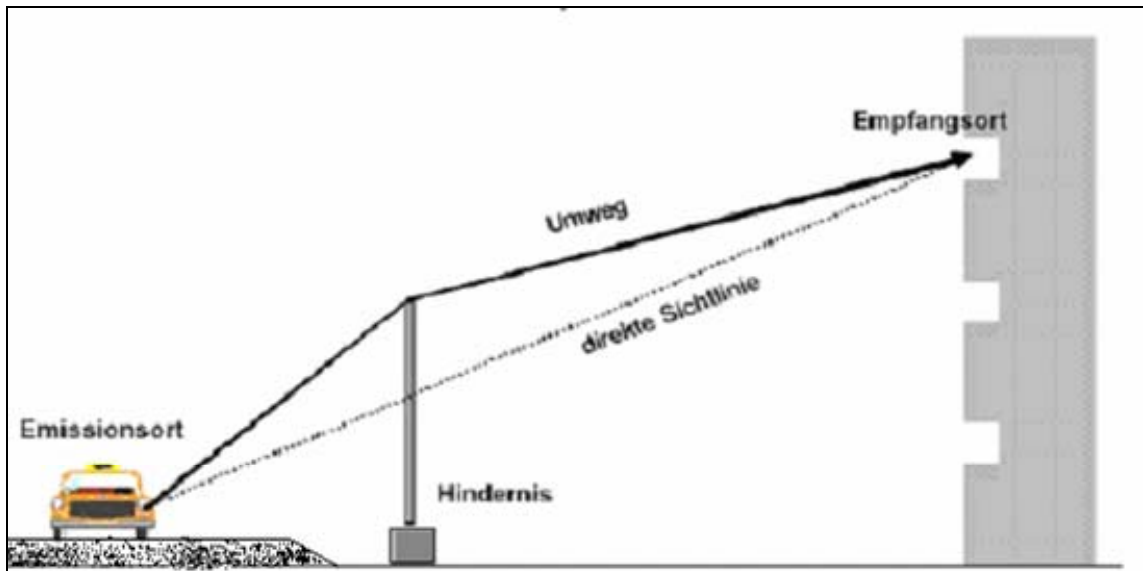


Abbildung 37: Schallausbreitung und -beugung über eine Lärmschutzwand [7]

Als Kennwert für die Abschirmung wird in der Regel das Schalldämmmaß $\Delta L_{A,R,Str}$ benutzt. Es kann je nach Lärmschutzwandtyp von 25 bis über 50 dB(A) variieren [30].

Die Schallabsorptionseigenschaften der Lärmschutzeinrichtung spielen auch eine relevante Rolle. Die Schallabsorption wird durch den Wert $\Delta L_{A,\alpha,Str}$ [dB(A)] beschrieben. Er zeigt, um wie viel der allein durch die Restreflexion hervorgerufene A-bewertete Schallpegel niedriger ist, als er bei 100% Reflexion wäre. In dem Fall, dass sich der reflektierte Schall dem ungehindert einfallenden Schall überlagert, sollte eine Wand mindestens mit $\Delta L_{A,\alpha,Str} \geq 4$ dB(A) ausgeführt werden. Solche Wände werden als absorbierende Wände bezeichnet, liegt der $\Delta L_{A,\alpha,Str}$ -Wert über 8 dB(A), dann wird von einer hochabsorbierenden Wand gesprochen. In der Dienstanweisung für Lärmschutz an Bundesstraßen des BMVIT wird die Höhe einer Lärmschutzwand mit 4 m begrenzt bzw. bis 5,5 m, wenn sich die Straße in einer ungünstigen topographischen Lage befindet [31]. Diese Höhe wird als landschaftlich verträgliche Grenze für Lärmschutzeinrichtungen gehalten.

Die Position einer Lärmschutzwand neben dem Straßenkörper beeinflusst die Abschirmwirkung. Je näher sie sich bei der Lärmquelle befindet, desto effektiver ist sie. Abbildung 38 zeigt verschiedene Lösungsmöglichkeiten. Die Standardlösung ist eine Lärmschutzwand direkt am Bankettrand, wo die besten Abschirmwerte erzielt werden. Die Schüttung eines Lärmschutzdammes mit aufgesetzter Lärmschutzwand ist eine andere Möglichkeit, allerdings wird bei gleicher Höhe ein schlechterer Schirmwert erzielt und eine höhere Ausführung wird notwendig, um die gleiche Abschirmung wie bei einer konventionellen Lärmschutzwand zu erreichen.



Abbildung 38: Arten von Lärmschutzeinrichtungen [32]

Lärmschutzwände müssen ihre Wirkung als optisch effektives seitliches Hindernis gewährleisten können. Ihre Auswirkung auf das Verhalten der Fahrer sollte gering sein und ihre Aufmerksamkeit bezüglich der Fahrsituation nicht stören. Durch gewisse visuelle Maßnahmen (Farbanordnungen) können die Fahrbesonderheiten der Straße anschaulicher gemacht und schließlich die Verkehrssicherheit verbessert werden [32].

Bei Wohnhäusern in Hanglage kann es sinnvoll sein, die zweite Richtungsfahrbahn bei Autobahnen ebenfalls abzuschirmen. Das erfolgt mit der Anwendung von Mittenlärmschutzwänden. Eine Lärmschutzanlage am äußeren Fahrbahnrand allein wird keine Abschirmung des zweiten Fahrstreifens gewährleisten können. Trotz der Anlage am Fahrbahnrand ist das Wohngebiet voll dem Straßengeräusch ausgesetzt (siehe Abbildung 39). Theoretisch kann durch eine Mittenwand die halbe Verkehrsmenge abgeschirmt werden, dadurch ergibt sich eine maximale Schallpegelreduktion von 3 dB. Somit werden Mittenwände als eine zusätzliche Einrichtung zu den Lärmschutzwänden am Fahrbahnrand akzeptiert und als eine sinnvolle Ergänzung des Gesamtlärmschutzsystems betrachtet [33].

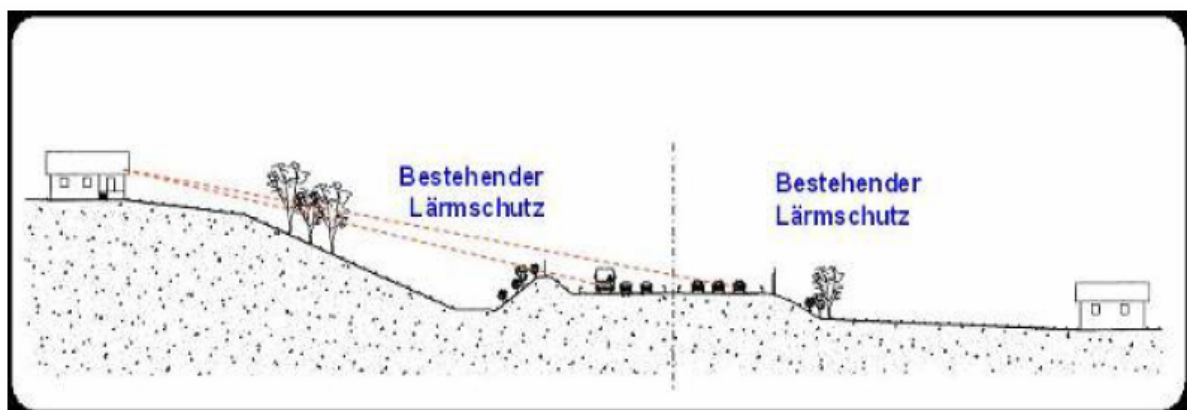


Abbildung 39: Schallabstrahlung in Hanglage [32]

4.3.3 Beispiele für verschiedene Lärmschutzwandsysteme

Am Markt ist zurzeit eine Vielzahl an verschiedenen Lärmschutzwandsystemen zu finden. Sie unterscheiden sich grundsätzlich durch ihre Konstruktion und das verwendete Baumaterial voneinander. Die am meisten verwendeten Baumaterialien

sind Aluminium, Holz, Kunststoff, Beton, Glas, transparenter Kunststoff, Tonmaterialien u.a.

Das benutzte Holz muss beständig gegen organische Schädlinge sein oder durch Holzschutzmittel (Kesseldrucktränkung) geschützt werden. Die Mindestdicke muss 8 mm betragen [32]. Risse und Verwerfungen dürfen die schalltechnische Funktion und Standsicherheit nicht beeinträchtigen. Aus finanziellen Gesichtspunkten ist die Errichtung von Lärmschutzwänden aus Holz jedoch zu empfehlen (siehe Abbildung 40).



Abbildung 40: Beispiele für Lärmschutzwände aus Holz [32]

Abbildung 41 zeigt Beispiele für Lärmschutzwände aus Beton. Aus visuellen Überlegungen werden Betonwände gewöhnlich mit einer Holzauskleidung ausgeführt oder mit dichten Bepflanzungen bedeckt. Sichtbare und im Frostbereich liegende Betonbauteile müssen einen hohen Widerstand gegen Frost, Tausalze und gegenüber starken chemischen Angriffen aufweisen.



Abbildung 41: Beispiele für Lärmschutzwände aus Beton [32]

Bei Leichtmetallwänden werden vorwiegend Aluminiumlegierungen verwendet, die wasserbeständig und gut schweißbar sein müssen. Die Leichtmetallwände müssen eine Blechdicke von min. 1,0 mm haben. Blechdicke, Sickentiefe und Abmessungen müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass Verspannungen, die zu sichtbaren Verformungen oder Unebenheiten führen, vermieden werden. Die Wandelemente müssen unbedingt einen Korrosionsschutz erhalten [32]. Abbildung 42 stellt Beispiele für Lärmschutzwände aus Metall dar.



Abbildung 42: Beispiele für Lärmschutzwände aus Aluminium [32]

Optisch ansprechenden und wirksamen Lärmschutz bieten Systeme mit Steinen oder mit Glasschaum gefüllten Stahlkörben (siehe Abbildung 43).



Abbildung 43: Lärmschutzwände mit gefüllten Körben [32]

Kunststoffe müssen mit UV-Lichtschutz und mit einer pigmentierten Schutzschicht versehen oder vollständig eingefärbt sein (siehe Abbildung 44). Diese Systeme spielen in den letzten Jahren eine sehr untergeordnete Rolle.



Abbildung 44: Lärmschutzwand aus Recyclingkunststoff [32]

Als transparente Materialien für Lärmschutzelemente stehen Kunststoffe wie Acrylglas, Polycarbonat oder Glas (Einscheibensicherheitsglas, Verbundsicherheitsglas) im Vordergrund (siehe Abbildung 45).



Abbildung 45: Lärmschutzwände aus transparenten Kunststoffen [32]

4.3.4 Innovative Lärmschutzwände

Das ständig steigende Verkehrsaufkommen verursacht das Bedürfnis nach Entwicklung innovativer Lärmschutzsysteme, die bessere Lärmmindeigenschaften besitzen. Mehrere Untersuchungen sind in diesem Bereich durchgeführt und günstige Lösungen bei der Gestaltung einer Lärmschutzeinrichtung gefunden worden. Aufgrund von Modellrechnungen stellte sich heraus, dass gekrümmte Lärmschutzwände einen enormen schalltechnischen Vorteil im Vergleich zu geraden Wänden derselben Höhe aufweisen (siehe Abbildung 46).

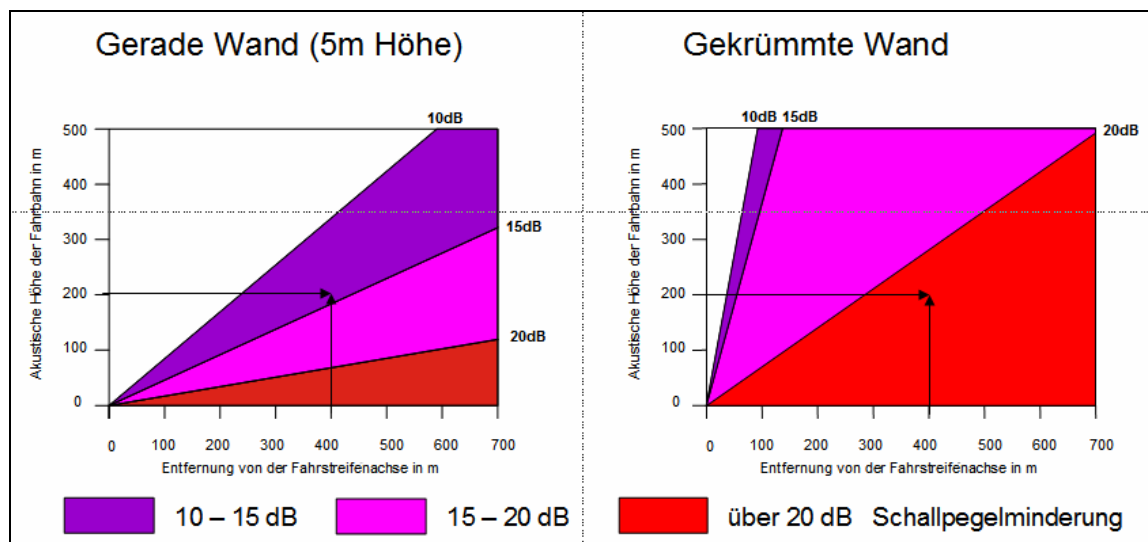


Abbildung 46: Vergleich der Schallpegelminderung einer geraden mit einer gekrümmten Wand [7]

Beträchtliche Vorteile bringt das System mit gekrümmten Lärmschutzwänden im Vergleich zu Einhausungen durch den Entfall von zusätzlichen technischen Maßnahmen wie Lüftungseinbauten, Beleuchtung und es bietet einen wesentlich geringeren Aufwand an Material, ebenso kürzere Aufstellzeiten und weniger Behinderungen während des Bauprozesses. Abbildung 47 stellt ein Modell und ein Foto eines gekrümmten Lärmschutzwandsystemes dar.

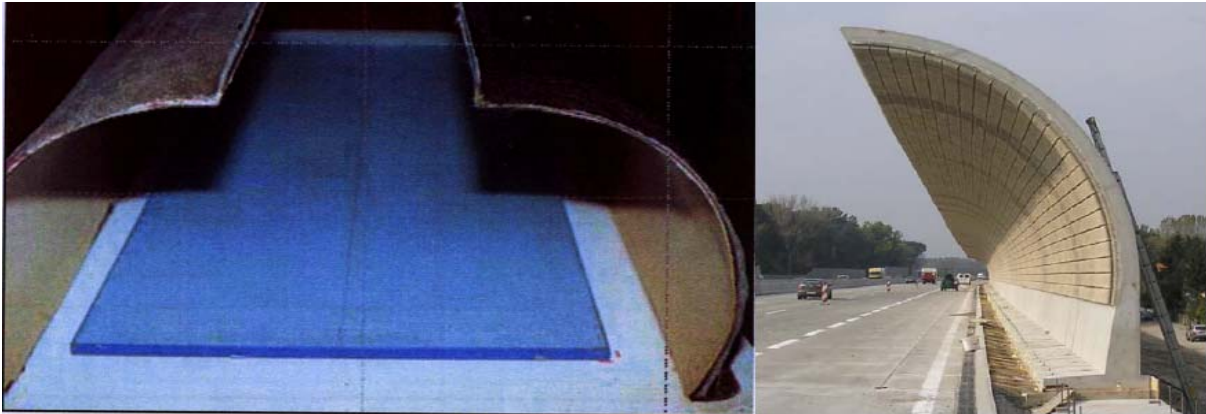


Abbildung 47: Modell und Foto einer gekrümmten Lärmschutzwand [32],[33]

Ähnlich wie bei gekrümmten Wänden kann die abschirmende Wirkung auch durch eine über die Fahrbahn auskragende Lärmschutzwanderhöhung erreicht werden. Abbildung 48 veranschaulicht eine geknickte Wand, die zusätzlich mit einer schallweichen absorbierenden Kante ausgeführt ist, um eine maximale Lärminderung zu erzielen. Dadurch versucht man, die Beugungswirkung zu verringern und einen besseren Lärminderungseffekt zu erreichen.



Abbildung 48: Beispiel für eine geknickte Lärmschutzwand–A23 Südosttangente Wien [32]

Ein anderes Beispiel stellt der Lärmschutzaufsatz „Octagon“ dar, der ebenfalls auf vorhandene gerade Lärmschutzwände aufgesetzt werden kann. Es handelt sich um eine Aluminiumkonstruktion, die die Form eines achteckigen Prismas aufweist. Die Aluminiumschale ist perforiert und ermöglicht damit den Schalleintritt in das Innere, das zum Zweck der akustischen Absorption mit Steinwolle ausgekleidet ist. Diese Konstruktion erzeugt durch eine akustisch günstige Ausbildung der Beugekante eine größere Lärminderung, als es durch eine reine Lärmschutzwanderhöhung möglich wäre (siehe Abbildung 49).



Abbildung 49: Das Aufsatzelement „Octagon“ an der A10 [32]

4.3.5 Lärmschutzwälle

Lärmschutzwälle kommen praktisch nur an Straßen im Außerortsbereich zur Anwendung (siehe Abbildung 50). Sie haben, im Vergleich zu Lärmschutzwänden, den Vorteil, dass sie bei guter Formgebung und standortgerechter Bepflanzung das Landschaftsbild kaum stören.



Abbildung 50: Lärmschutzwall mit Bepflanzung [34]

Außerdem eignen sich Lärmschutzwälle zur Unterbringung von Erd-Abtragsmassen, die sonst an einer anderen Stelle deponiert werden müssten. Ihre Masse dämmt bei dichter Schüttung den Schall praktisch vollständig ab. Weiters treten keine Reflexionen zu gegenüberliegenden Bebauungen auf. Ebenfalls tragen sie weniger zur Verschattung der Fahrbahnen bei und dadurch bedingen sie eine geringere Gefahr durch Eisglättebildung als nahe an der Straße stehende Wände. Lärmschutzwälle erfordern aber einen hohen Platzbedarf (siehe Abbildung 51).

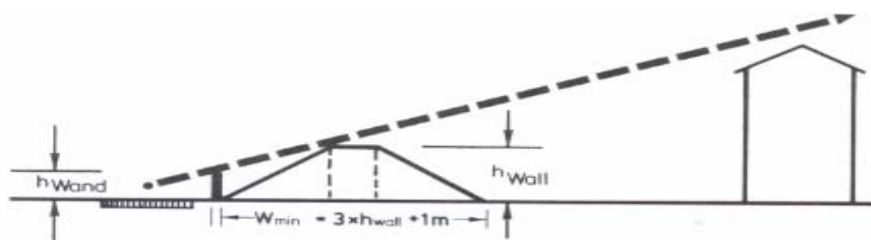


Abbildung 51: Höhe eines Lärmschutzwalles im Vergleich zu einer wirkungsgleichen Lärmschutzwand [34]

4.3.6 Einhausungen

An Autobahnen, die in innergebirgigen Tallagen liegen, können mit herkömmlichen Schutzmaßnahmen die gewünschten Lärminderungseffekte nicht mehr erreicht werden. In diesen Fällen sind Lösungen mit Überdachungen oder Einhausungen der Autobahnen notwendig. Massiveinhausungen sind extrem kostenaufwendig in Bezug auf die Errichtung und die Erhaltung. Aus diesem Grund sind in letzter Zeit Entwürfe und Untersuchungen von Leichteinhausungen bzw. Teileinhausungen in den Vordergrund gerückt.

Normalerweise wird für den Bau dieser Lärmschutzeinrichtungen eine innen reflektierende Oberfläche verwendet, dies führt zu einer Erhöhung des Innenschallpegels. Die Länge einer Einhausung hat ebenfalls einen großen Einfluss auf das Lärminderungspotenzial. Je länger die Einrichtung ist, desto größer ist die Lärmreduktion (siehe Abbildung 52).

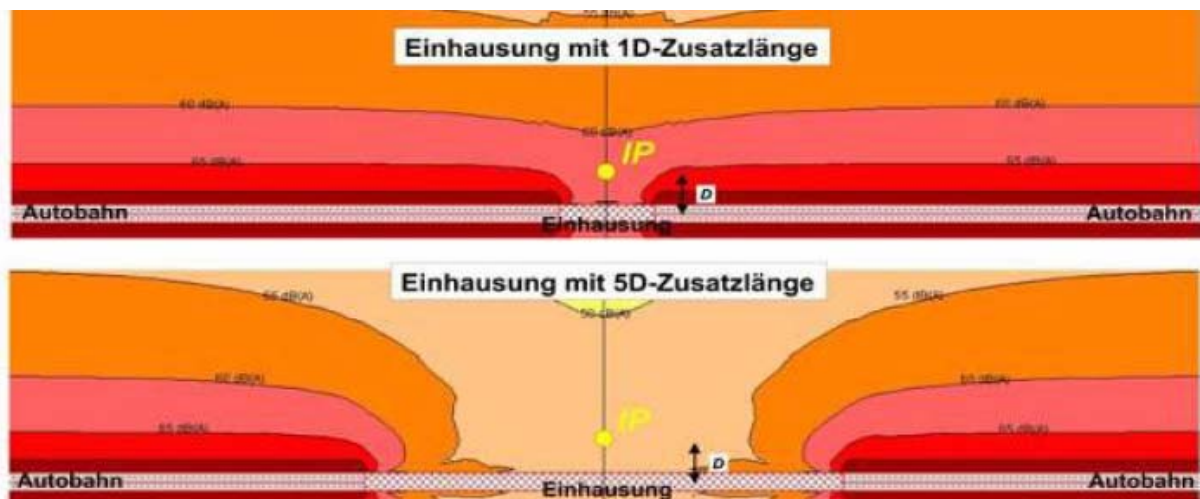


Abbildung 52: Einfluss der Einhausungslänge in Bezug zur Schallpegelausbreitung [32]

4.4 Passiver Lärmschutz

Die Lärmbelastung der Wohngebiete, die unmittelbar an befahrenen Straßen situiert sind, ist relativ groß und die gewünschte Lärmreduktion durch gewöhnliche bautechnische Lärmschutzmaßnahmen (wie z.B. den Einsatz von lärmindernden Deckschichten und Lärmschutzwänden) kann nicht mehr erreicht werden. In diesen Fällen werden zusätzliche Maßnahmen an Häusern, die als passiver Lärmschutz bezeichnet werden, in Verwendung gebracht. Diese Gruppe beinhaltet Lärmschutzfenster, -türen und Schalldämmlüfter.

Um einen ausreichend niedrigen Innenpegel in den Räumen zu gewährleisten, ist der Einbau von Lärmschutzfenstern mit einer entsprechenden Schalldämmung erforderlich [31]. Allerdings weisen diese einen Lärmschutz nur in den Räumen und nur bei geschlossenen Fenstern auf. Freiräume um die Wohngebäude bleiben weiterhin der Lärmbelastung ausgesetzt.

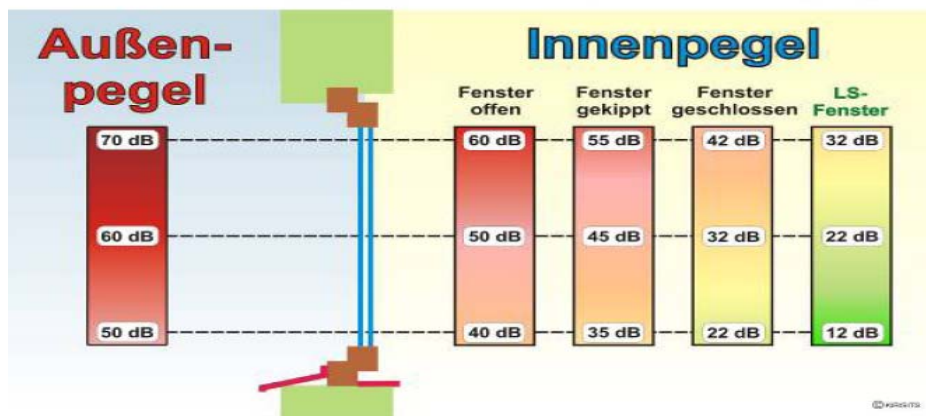


Abbildung 53: Zusammenhang Außen- und Innenpegel unter Berücksichtigung verschiedener Fenster und Fensterlagen [32]

Abbildung 53 veranschaulicht die Pegelminderung im Raum. Bei einem Außenpegel von 70 dB ist zum Beispiel sichtbar, dass die Lärmbelastung im Zimmer sehr hoch ist, wenn das Fenster offen ist – der Innenpegel beträgt dann 60 dB. Ein deutlicher Unterschied des Innenpegels ist erkennbar, wenn das Fenster geschlossen ist – 42 dB. In diesem Fall ist dann der Pegelunterschied zwischen außen und innen schon 28 dB. Die Verwendung von Lärmschutzfenstern vergrößert diesen Unterschied um weitere 10 dB.

In Schlafräumen, bei denen eine ausreichende natürliche Frischluftzufuhr von der Straßenseite nicht möglich ist, ist der Einbau von Schalldämmlüftern erforderlich [31]. Ein Schalldämmlüfter hat die Eigenschaft, frische Luft von außen in den Raum zu transportieren und gleichzeitig den Durchgang von Schall durch Schalldämpfung zu verhindern. Er bringt den wichtigen Luftaustausch in Schlafräumen und sorgt für ein gesundes Klima.

5. LÄRMAUSBREITUNGSBERECHNUNG - AUFSTELLUNG DES BERECHNUNGSMODELLS

Im nachfolgenden Beispiel wird eine Berechnung der Lärmausbreitung unter verschiedenen Randbedingungen (lärmmindernde Deckschicht, Lärmschutzwand) durchgeführt. Im Beispiel wird ein frei gewählter Straßenabschnitt mit einer straßennahen Besiedlung betrachtet und die Schutzwirkung der verschiedenen lärmmindernden Maßnahmen untersucht. Schließlich wird auch ein genereller Kostenvergleich vorgenommen.

5.1 Beschreibung des Geländes

Grundlage des untersuchten Geländemodells bildet ein Abschnitt einer Straße mit überwiegend überregionalem Verkehr (siehe Abbildung 54). Die Straße wird in beiden Richtungen befahren. Nordöstlich der Straße befindet sich ein Wohngebiet mit 20 Einfamilienhäusern. Die Siedlung ist in einer Talebene situiert, 100 m von der Straße entfernt und grenzt in Richtung Südwesten und Nordosten an hügelige Gebiete.

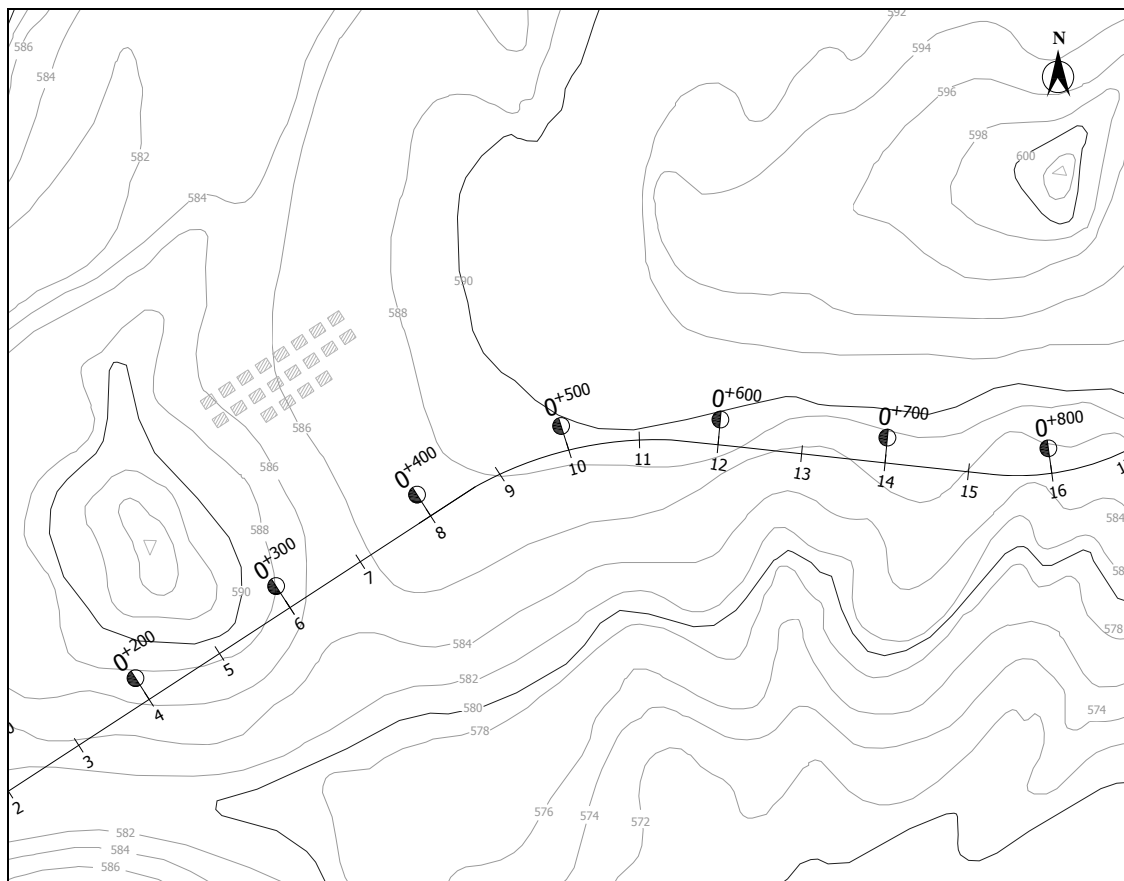


Abbildung 54: Lageplan des untersuchten Geländemodells

Basiswerte der Straße:

- Straßentyp Straße mit überwiegend überregionalem Verkehr
- Verkehrsstärke 12.620 Kfz/24h
- Lkw-Anteil 1.123 Lkw/24h
- Zulässige Fahrgeschwindigkeit
 - Für PKW 100 km/h
 - Für LKW 70 km/h
- Steigung 1%
- Querschnittsdimensionierung
 - Fahrstreifen 2 x 3,75 m
 - Bankett 2 x 1,50 m

5.2 Grundlagen der Lärmberechnung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird das oben beschriebene Geländemodell mit verschiedenen lärmindernden Deckschichten in Bezug auf ihr Lärminderungspotenzial untersucht. Die Untersuchung erfolgt mittels der Software „SoundPLAN“. Die Berechnungen des Programms werden gemäß RVS 04.02.11 [29] durchgeführt.

Im Folgenden werden die Grundlagen der Berechnungen gemäß RVS 04.02.11 erläutert.

5.2.1 Basiskennwerte zur Ermittlung des Emissions- bzw. Immissionsschallpegels

Der Immissionsschallpegel wird durch den A- bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel am maßgebenden Immissionsort beschrieben. Für den Straßenverkehrslärm ist der Beurteilungspegel gleich dem äquivalenten Dauerschallpegel. Die Lärmindizes

- L_{day} Tag-Lärmindex für die Belastung während des Tages [dB]
- $L_{evening}$ Abend-Lärmindex für die Belastung während des Abends [dB]
- L_{night} Nacht-Lärmindex für die Belastung in der Nacht [dB]

werden als energieäquivalente Dauerschallpegel für die Beurteilungszeiträume Tag (6 bis 19 Uhr), Abend (19 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr) berechnet.

Zur Beurteilung sind heranzuziehen

- L_{den} Tag-Abend-Nacht-Lärmindex für die allgemeine Belastung [dB]
- L_{night} Nacht-Lärmindex für die Belastung in der Nacht [dB]

Der Lärmindex L_{den} errechnet sich aus der Formel

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left(13 \cdot 10^{L_{day}/10} + 3 \cdot 10^{(L_{evening}+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_{night}+10)/10} \right) \quad [\text{dB}] \quad (5.1)$$

Der Tag-Lärmindex entspricht näherungsweise dem Schallpegel für den Tag (6 bis 22 Uhr, 8 stärkstbelastete aufeinander folgende Stunden) gemäß Ausgabe der RVS 3.02 [35] vom Dezember 1997.

5.2.2 Maßgebende Verkehrsstärken

Die Ermittlung der maßgebenden Verkehrsstärken basiert auf Verkehrszählungen und wird durch die Analyse des bestehenden Verkehrsgeschehens bestimmt. Grundlage sind die Ergebnisse der automatischen Dauerzählstellen, der Fünf-Jahres-Verkehrszählungen (ECE - Zählungen) und/oder detaillierte Verkehrsuntersuchungen. Nur wenn keine genaueren Daten vorliegen, sind die für Verkehrslärberechnungen maßgebenden stündlichen Verkehrsstärken an Straßen näherungsweise wie folgt abzuschätzen:

$$MSV_L = k_L \cdot JDTV \text{ (bzw. } DTV_{6M_0} \text{)} \quad (5.2)$$

mit:

MSV_L maßgebende stündliche Verkehrsstärke für Verkehrslärbelastungen [Kfz/h]

k_L Bemessungsfaktor für Verkehrslärberechnungen gemäß Tabelle 4

JDTV Mittelwert über alle Tage des Jahres der Anzahl der einen Straßenquerschnitt in beiden Richtungen täglich passierenden Kraftfahrzeuge [Kfz/24h]

Tabelle 4: Bemessungsfaktoren für Verkehrslärberechnungen [29]

| Straßentyp | Bemessungsfaktor k_L | | |
|---|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | Tag (6 bis 19 Uhr) | Abend (19 bis 22 Uhr) | Nacht (22 bis 6 Uhr) |
| Straße mit überwiegend überregionalem Verkehr | 0,060 | 0,036 | 0,014 |
| Straßen mit überwiegend lokalem Verkehr | 0,064 | 0,029 | 0,010 |
| Hauptstraßen innerorts | 0,062 | 0,035 | 0,011 |
| Sammel- und Anliegerstraßen innerorts | 0,062 | 0,041 | 0,009 |

Sofern keine genaueren Daten vorliegen oder mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, sind die in den Tabellen 5 und 6 angegebenen Richtwerte als grobe Abschätzungen für den maßgebenden Schwerverkehrsanteil p_s und den Anteil leichter und schwerer LKW am Schwerverkehr heranzuziehen.

Liegen keine Angaben über lärmarme Fahrzeuge¹ vor und können diese auch nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden, so ist deren Anteil bei leichten LKW mit 50 % und bei schweren LKW mit 90 % anzunehmen.

Tabelle 5: Richtwerte für den Schwerverkehrsanteil für Verkehrslärberechnungen [29]

| Straßentyp | Schwerverkehrsanteil p_s | | |
|---|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | Tag (6 bis 19 Uhr) | Abend (19 bis 22 Uhr) | Nacht (22 bis 6 Uhr) |
| Straße mit überwiegend überregionalem Verkehr | 10 % | 15 % | 25 % |
| Straßen mit überwiegend lokalem Verkehr | 10 % | 10 % | 10 % |
| Hauptstraßen innerorts | 10 % | 5 % | 10 % |
| Sammel- und Anliegerstraßen innerorts | 5 % | 2 % | 2 % |

Tabelle 6: Richtwerte für den Anteil leichter und schwerer LKW am Schwerverkehr für Verkehrslärberechnungen [29]

| Straßentyp | Anteil des Schwerverkehrs | |
|---|---------------------------|-------------|
| | leichte LKW | schwere LKW |
| Straße mit überwiegend überregionalem Verkehr | 25 % | 75 % |
| Straßen mit überwiegend lokalem Verkehr | 90 % | 10 % |
| Hauptstraßen innerorts | 90 % | 40 % |
| Sammel- und Anliegerstraßen innerorts | 95 % | 5 % |

5.2.3 Berechnung des Emissionsschallpegels

Die Berechnung der Schallemission ist die Grundlage der Berechnung des Immissionsschallpegels. Sie wird durch den vom Verkehr auf einer langen, geraden Straße verursachten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel in 1 m Abstand von der Emissionslinie bestimmt. Die folgenden verkehrsbezogenen Parameter

- Anzahl der PKW pro Stunde M_{PKW}
- Geschwindigkeit der PKW V_{PKW} [km/h]
- Anzahl der leichten Standard – LKW pro Stunde M_{LKWl}
- Anzahl der lärmarmen leichten LKW pro Stunde $M_{LKWl, \text{lärmarm}}$
- Anzahl der schweren Standard – LKW pro Stunde M_{LKW_s}

¹ Ein LKW wird gemäß ÖAL- Richtlinie 29 dann als lärmindernd bezeichnet, wenn sein maximaler Vorbeifahrtpegel nach der Messmethode der beschleunigten Vorbeifahrt kleiner als 80 dB(A) ist [36].

- Anzahl der lärmarmen schweren LKW pro Stunde $M_{LKW_s, \text{lärmarm}}$
- Geschwindigkeit der LKW V_{LKW} [km/h]

und straßenbezogenen Parameter

- Fahrbahndeckschicht
- Längsneigung

sind Basis für die Ermittlung.

Die Emission wird für jede Emissionslinie getrennt bestimmt. Der energieäquivalente Dauerschallpegel ergibt sich aus

$$L_{A,eq}^1 = 10 \cdot \lg(10^{L_{eq,PKW}/10} + 10^{L_{eq,LKWI}/10} + 10^{L_{eq,LKWI,lärmarm}/10} + 10^{L_{eq,LKW_s}/10} + 10^{L_{eq,LKW_s,lärmarm}/10}) \quad [\text{dB}] \quad (5.3)$$

mit:

$$L_{eq,PKW} = L_{PKW,F} + K_{V,PKW,F} + K_{L,PKW} + 10 \cdot \lg M_{PKW} \quad [\text{dB}] \quad (5.4)$$

$$L_{eq,LKWI} = L_{LKWI,F} + K_{V,LKW,F} + K_{L,LKW} + 10 \cdot \lg M_{LKWI} \quad [\text{dB}] \quad (5.5)$$

$$L_{eq,LKWI,lärmarm} = L_{LKWI,lärmarm} + K_{V,LKW,lärmarm} + K_{L,LKW} + 10 \cdot \lg M_{LKWI,lärmarm} \quad [\text{dB}] \quad (5.6)$$

$$L_{eq,LKW_s} = L_{LKW_s,F} + K_{V,LKW,F} + K_{L,LKW} + 10 \cdot \lg M_{LKW_s} \quad [\text{dB}] \quad (5.7)$$

$$L_{eq,LKW_s,lärmarm} = L_{LKW_s,lärmarm,F} + K_{V,LKWI,lärmarm} + K_{L,LKW} + 10 \cdot \lg M_{LKW_s,lärmarm} \quad [\text{dB}] \quad (5.8)$$

Die Basiswerte $L_{PKW,F}$, $L_{LKWI,F}$, $L_{LKWI,lärmarm,F}$, $L_{LKW_s,F}$, $L_{LKW_s,lärmarm,F}$ sind in der Tabelle 7², die Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit $K_{V,PKW,F}$, $K_{V,LKW,F}$, $K_{V,LKW,lärmarm,F}$ sind in der Tabelle 8², die Kennwerten für den Einfluss der Längsneigung $K_{L,PKW}$ und $K_{L,LKW}$ sind in den Tabellen 9 und 10 sowie in Abbildung 55 dargestellt.

Tabelle 7: Basiswerte für die Fahrzeugemission [37]

| Fahrbahndecke | $L_{PKW,F}$ [dB] | $L_{LKWI,F}$ [dB] | $L_{LKWI,lärmarm,F}$ [dB] | $L_{LKW_s,F}$ [dB] | $L_{LKW_s,lärmarm,F}$ [dB] |
|---------------|---------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Waschbeton | 50,3 | 55,8 | 53,8 | 59,8 | 57,8 |
| SMA | 49,8 | 55,3 | 53,3 | 59,3 | 57,3 |
| LSMA | 46,3 | 53,3 | 51,3 | 57,3 | 55,3 |
| Asphaltbeton | 48,8 | 56,3 | 54,3 | 60,3 | 58,3 |
| Drainasphalt | 45,6 | 51,2 | 49,2 | 55,2 | 53,2 |

² Anmerkung: Die angegebenen Basiswerte in Tabelle 7 und die Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit in Tabelle 8 für die unterschiedlichen Fahrbahndeckschichten sind das Ergebnis einer Vielzahl an durchgeführten Vorbeifahrtmessungen (siehe Forschungsprojekt [37]); sie sind aber bis jetzt (November 2007) noch nicht in der RVS 04.02.11 übernommen worden.

Tabelle 8: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit [37]

| Fahrbahndecke | $K_{V,PKW,F}$ [dB] | $K_{V,LKW,F}$ [dB] | $K_{V,LKW,lärmarm,F}$ [dB] |
|----------------------|--|--|--|
| Waschbeton | 21,6 lg(V/50) | 6,0 lg(V/50) | 16,0 lg(V/50) |
| SMA | 18,5 lg(V/50) | 9,7 lg(V/50) | 19,7 lg(V/50) |
| LSMA | 20,0 lg(V/50) | 6,9 lg(V/50) | 16,9 lg(V/50) |
| Asphaltbeton | 20,0 lg(V/50) | 5,9 lg(V/50) | 15,9 lg(V/50) |
| Drainasphalt | 20,5 lg(V/50) | 7,6 lg(V/50) | 17,6 lg(V/50) |

Tabelle 9: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei PKW [29]

| Längsneigung [%] | $K_{L,PKW}$ [dB] | |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------|
| | Steigung | Gefälle |
| ≤8 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 |
| 10 | 2 | 0 |
| 11 | 3 | 0 |
| 12 | 3 | 0 |
| 13 | 3 | 1 |
| 14 | 3 | 2 |
| ≥15 | 3 | 3 |

Tabelle 10: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei LKW [29]

| Längsneigung [%] | $K_{L,PKW}$ [dB] | |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------|
| | Steigung | Gefälle |
| ≤2 | 0 | 0 |
| 4 | 2 | 0 |
| 6 | 4 | 1 |
| 8 | 5 | 2 |
| 10 | 6 | 3 |
| 12 | 7 | 3.5 |
| ≥14 | 8 | 4 |

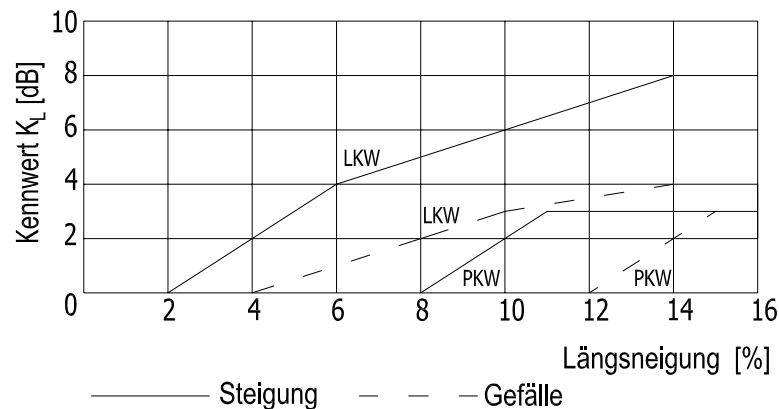


Abbildung 55: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung [29]

5.2.4 Berechnung des Immissionsschallpegels

Der Immissionsschallpegel errechnet sich aus dem Emissionspegel mit den Gesetzmäßigkeiten der Schallausbreitung. Die Berechnung erfolgt auf 0,1 dB genau, das Ergebnis wird auf ganze dB gerundet angegeben.

Bei der abschnittswisen Berechnung wird die Emissionslinie in einzelne Abschnitte zerlegt, die als punktförmige Schallquellen behandelt werden und für die die jeweiligen Ausbreitungsbedingungen (Topographie, Abschirmung usw.) zum Immissionsort berücksichtigt werden.

Der Immissionsschallpegel eines Abschnittes ergibt sich aus

$$L_{A,eq} = L_{A,eq}^1 + 10 \cdot \lg(\Phi / 180) + \Delta L_d + \Delta L_a + \Delta L_v + \Delta L_b + \Delta L_s + \Delta L_{rx} \quad [\text{dB}] \quad (5.9)$$

mit:

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| $L_{A,eq}$ | Immissionsschallpegel [dB] |
| $L_{A,eq}^1$ | Emissionsschallpegel [dB] |
| Φ | Winkel des betrachteten Sektors [°] |
| ΔL_d | Abstandsmaß [dB] |
| ΔL_a | Luftabsorptionsmaß [dB] |
| ΔL_v | Vegetationsdämpfungsmaß [dB] |
| ΔL_b | Bodendämpfungsmaß [dB] |
| ΔL_s | Schirmmaß [dB] |
| ΔL_{rx} | Flächenreflexionsmaß [dB] |

Die am Immissionsort auftretenden Schallanteile werden zum Gesamtschallpegel energetisch addiert:

$$L_{A,eq,ges} = 10 \cdot \lg \sum 10^{L_{A,eq}/10} \quad [\text{dB}] \quad (5.10)$$

In der Richtlinie werden diese Werte für ein typisches Verkehrslärmspektrum eingesetzt. Dieses ist in Tabelle 11 A-bewertet und auf den A-bewerteten Schallpegel 0 dB normiert angegeben. Es wird empfohlen, die Oktavbandanalyse einzusetzen, wenn Detailuntersuchungen in Abhängigkeit von der Frequenz durchgeführt werden sollen bzw. ein Rechenprogramm eingesetzt wird.

Tabelle 11: auf 0 dB normiertes Spektrum für Verkehrslärm (A-bewertet)

| | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Oktavband [Hz] | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| [dB] | -18 | -14 | -10 | -7 | -4 | -6 | -11 |

5.3 Lärmberechnung nach SoundPLAN

Bei der Lärmberechnung mittels SoundPLAN [38] werden die Lärmindizes L_d und L_n verwendet, wobei L_d als energieäquivalenter Dauerschallpegel für die Beurteilungszeiträume Tag und Abend (6 bis 22 Uhr) bezeichnet wird. Er ist also aus den Lärmindizes L_{day} und $L_{evening}$ gemäß RVS 04.02.11 zusammengefasst. Der Lärminde L_n ist gleich dem L_{night} gemäß RVS 04.02.11 und charakterisiert die Lärmbelastung in der Nacht für den Beurteilungszeitraum von 22 bis 6 Uhr.

5.3.1 Ermittlung der maßgebenden Verkehrsstärken für den untersuchten Straßenabschnitt

Die maßgebende stündliche Verkehrsstärke für den untersuchten Straßenabschnitt wird nach Formel 5.2 ermittelt (siehe Tabelle 13). Der Schwerverkehrsanteil wird in 25% leichte LKW und 75% schwere LKW unterteilt (siehe Tabelle 6). Da keine Angaben über lärmarme Fahrzeuge vorhanden sind, ist deren Anteil bei leichten LKW mit 50% und bei schweren LKW mit 90% angenommen [29]. Tabelle 12 stellt den JDTV in Kfz/24h bzw. LKW/24h der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer dar.

Tabelle 12: JDTV- Werte der PKW- und LKW- Anteile in Kfz/24h bzw. LKW/24h

| PKW | LKW | LKWI | LKWI, lärmarm | LKW _s | LKW _s , lärmarm |
|-------|------|------|---------------|------------------|----------------------------|
| 11497 | 1123 | 281 | 140 | 842 | 758 |

Der Bemessungsfaktor k_L wird nach Tabelle 4 in Abhängigkeit vom Straßentyp für die unterschiedlichen Beurteilungszeiträume bestimmt. Dadurch ergeben sich für die maßgebende stündliche Verkehrsstärke, eingeteilt in die Beurteilungszeiträume Tag (6 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr), die in Tabelle 13 angegebene Werte.

Tabelle 13: Maßgebende stündliche Verkehrsstärke für den untersuchten Straßenabschnitt in Kfz/h bzw. LKW/h

| Zeitraum | M _{PKW} | M _{LKW} | M _{LKWI} | M _{LKWI,lärmarm} | M _{LKWs} | M _{LKWs,lärmarm} |
|----------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| Tag (6 bis 22 Uhr) | 1104 | 108 | 27 | 13 | 81 | 73 |
| Nacht (22 bis 6 Uhr) | 161 | 16 | 4 | 2 | 12 | 11 |

5.3.2 Berechnung des Emissionsschallpegels für den untersuchten Straßenabschnitt

Die Berechnung der Emissionsschallpegel erfolgt gemäß Formel 5.3. In den folgenden Tabellen 14 und 15 sind die energieäquivalenten A-bewerteten Emissionsschallpegel für die unterschiedlichen Beurteilungszeiträume und für die verschiedenen Fahrbahndeckschichten dargestellt. Alle notwendigen Basis- und Kennwerte für die Fahrzeugemission, Geschwindigkeit und Längsneigung, die als Grundlage der Berechnung dienen, sind aus den Tabellen 7, 8, 9 und 10, sowie aus Abbildung 55 entnommen worden.

Tabelle 14: Berechneter Emissionsschallpegel (Beurteilungszeitraum 6 bis 22 Uhr) für den untersuchten Straßenabschnitt und für die verschiedenen Fahrbahndeckschichten

| Fahrbahndecke | L _{eq,PKW} | L _{eq,LKWI} | L _{eq,LKWI,lärmarm} | L _{eq,LKWs} | L _{eq,LKWs,lärmarm} | L _{A,eq} ¹ |
|---------------|---------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Waschbeton | 87,2 | 71,0 | 67,4 | 79,8 | 78,8 | 88,6 |
| SMA | 85,8 | 71,0 | 67,5 | 79,8 | 78,8 | 87,6 |
| LSMA | 82,7 | 68,6 | 65,1 | 77,4 | 76,4 | 84,7 |
| Asphaltbeton | 85,2 | 71,5 | 67,9 | 80,2 | 79,2 | 87,4 |
| Drainasphalt | 82,2 | 66,6 | 63,1 | 75,4 | 74,4 | 83,7 |

Tabelle 15: Berechneter Emissionsschallpegel (Beurteilungszeitraum 22 bis 6 Uhr) für den untersuchten Straßenabschnitt und für die verschiedenen Fahrbahndeckschichten

| Fahrbahndecke | L _{eq,PKW} | L _{eq,LKWI} | L _{eq,LKWI,lärmarm} | L _{eq,LKWs} | L _{eq,LKWs,lärmarm} | L _{A,eq} ¹ |
|---------------|---------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Waschbeton | 78,9 | 62,6 | 59,1 | 71,4 | 70,4 | 80,2 |
| SMA | 77,4 | 62,7 | 59,1 | 71,4 | 70,4 | 79,2 |
| LSMA | 74,4 | 60,3 | 56,7 | 69,0 | 68,0 | 76,4 |
| Asphaltbeton | 76,9 | 63,1 | 59,6 | 71,9 | 70,9 | 79,0 |
| Drainasphalt | 73,8 | 58,3 | 54,7 | 67,0 | 66,0 | 75,3 |

5.3.3 Berechnung des Immissionserschallpegels

Die rechnerisch ermittelten Emissionsschallpegel $L_{A,eq}^1$ für die verschiedenen Fahrbahndeckschichten werden im Programm SoundPLAN eingesetzt und dienen als Grundlage der Berechnung des Immissionserschallpegels. Für das untersuchte Geländemodell sind 10 spezielle Immissionsorte ausgewählt (siehe Abbildung 56), die an den verschiedenen Häusern angegeben sind. Die Berechnung erfolgt abschnittsweise, wobei die Ausbreitungsbedingungen (Topographie, Abschirmung usw.) zu den Immissionsorten berücksichtigt werden. Die Ergebnisse werden als Rasterlärmmkarten und als Schnittlärmmkarten in Kapitel 6 dargestellt. Bei den Berechnungen im Rahmen dieser Arbeit wird keine Spektralanalyse durchgeführt.

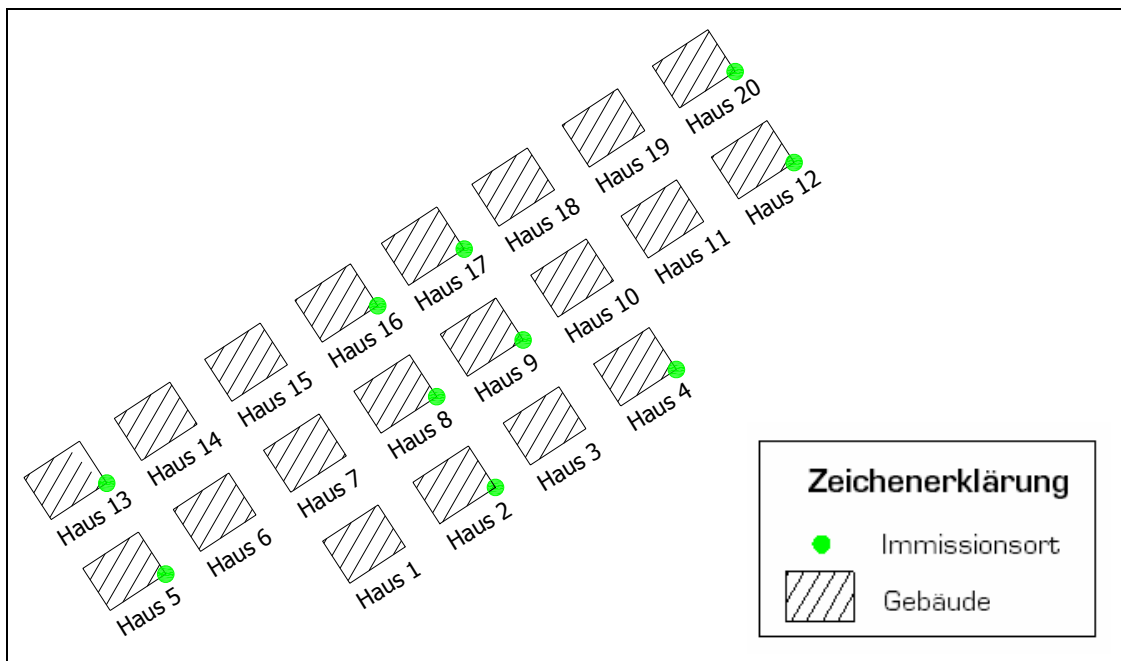


Abbildung 56: Schema der ausgewählten Immissionsorte

6. LÄRMAUSBREITUNGSBERECHNUNG - AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE

6.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Lärmausbreitung in Folge des angegebenen Straßenverkehrs und des untersuchten Geländemodells werden in der Form von Rasterlärmkarten dargestellt. Außerdem wurde eine Schnittlinie quer durch die Straße bis zum Siedlungsgebiet definiert. Dieser Schnitt dient als Grundlage für die Aufstellung von Schnittlärmkarten, die Schnittlinie ist ebenfalls in den Rasterlärmkarten eingezeichnet. Weiters wird eine Analyse der einzelnen Immissionsorte durchgeführt, die die Immissionsschallpegel der verschiedenen Häuserreihen in Bezug auf die Straße veranschaulichen.

Die Raster- und Schnittlärmkarten, so wie die Dauerschallpegel der einzelnen Immissionsorte sind mit Hilfe der Software SoundPLAN [38] für die allgemeine Belastung während des Tages und in der Nacht erstellt worden.

Für die Berechnung wurden die fünf verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen

- Waschbeton,
- Asphaltbeton,
- Splittmastixasphalt,
- lärmindernder Splittmastixasphalt und
- Drainasphalt

gewählt, wobei für jede der fünf unterschiedlichen Fahrbahndeckschichttypen entsprechende Modellrechnungen durchgeführt worden sind. Die Untersuchung der Ergebnisse dient zur Beurteilung des möglichen Lärminderungspotenziales der unterschiedlichen Fahrbahndeckschichten.

In der Dienstanweisung für Lärmschutz an Bundesstraßen des BMVIT [31] sind die Immissionsgrenzwerte für bestehende Straßen festgelegt, die als Grundlage der Beurteilung betrachtet werden. Diese sind mit

- 50 dB für den Nachtzeitraum (L_{night})
- 60 dB für den Tag – Abend – Nachtzeitraum (L_{den} bzw. L_{day})

angegeben. Weiters wurden für diejenigen Deckschichttypen, für die im untersuchten Wohngebiet die Grenzwerte nach [31] nicht eingehalten werden konnten, zusätzliche Modellberechnungen mit dem Einsatz einer Lärmschutzwand durchgeführt. Das Programm SoundPLAN beinhaltet dafür ein Modul für die Optimierung der Lärmschutzwandhöhe. SoundPLAN baut dabei schrittweise die Lärmschutzwand auf, wobei bei jedem zusätzlichen Wandhöhenelement die Dauerschallpegel vermindert werden. Das Programm baut solange Wandhöhenelemente auf, bis der größte Dauerschallpegel der zugeordneten Immissionsorte gleich dem Sollpegel ist.

6.2 Analyse der erstellten Rasterlärmkarten ohne den Einsatz einer Lärmschutzwand

6.2.1 Beurteilungszeitraum Tag

In Abbildung 57 ist die Rasterlärmkarte im Fall einer Waschbetondeckschicht für die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr während des Tages dargestellt. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass im Wohngebiet der Immissionsgrenzwert von 60 dB (blassrote Farbe) eindeutig überschritten wird. Erst in der dritten Häuserreihe kann ein ausreichender Lärmschutz beobachtet werden. Außerdem sind die Bereiche mit den größten Immissionspegelwerten, die über 70 dB betragen, bis etwa dem halben Abstand zwischen Straße und Siedlung angeordnet.

Abbildung 58 veranschaulicht die Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells im Fall einer herkömmlichen Asphaltbetondeckschicht. Es ist sichtbar, dass die Bereiche mit den Pegelwerten über 70 dB hier kleiner sind als bei der Waschbetondeckschicht. Daraus lässt sich schließen, dass der Schallpegel direkt neben der Straße bei der Asphaltbetondeckschicht etwas niedriger als bei der Waschbetondeckschicht ausfällt. Die Lärmausbreitung erfolgt allerdings in ähnlicher Weise wie im vorher beschriebenen Fall.

Abbildung 59 zeigt die Lärmsituation im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht. Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass die Lärmbelastung des betrachteten Siedlungsgebiets fast gleich ist wie bei der herkömmlichen Asphaltdeckschicht.

Ein deutlicher Unterschied der Lärmsituation kann in der Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells im Fall einer lärmindernden Splittmastixasphaltdeckschicht beobachtet werden (siehe Abbildung 60). Die Bereiche mit den größten Pegelwerten sind wesentlich in der Nähe der Straße begrenzt und umfassen eine kleinere Fläche. Der erforderliche Lärmschutz für den Tag (Grenzwert 60 dB) ist für die Siedlung gerade noch gewährleistet. Es wäre also in diesem Fall nicht notwendig eine zusätzliche Lärmschutzwand zu bauen um die Einwohner der Siedlung im Beurteilungszeitraum Tag ausreichend gegen den Verkehrslärm zu schützen.

Abbildung 61 stellt die Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells im Fall einer Drainasphaltdeckschicht dar. Aus der Abbildung ist zu schließen, dass die Drainasphaltdeckschicht die besten Lärminderungseigenschaften aufweist. Die Bereiche der größeren Pegelwerte sind ganz auf die Nähe der Straße beschränkt. Außerdem breiten sich die Pegelwerte, die die Grenzwerte von 60 dB überschreiten, bis etwa den halben Abstand zwischen Straße und Wohngebiet aus, das heißt die Siedlung ist gegen die kritischen Lärmimmissionen völlig geschützt.

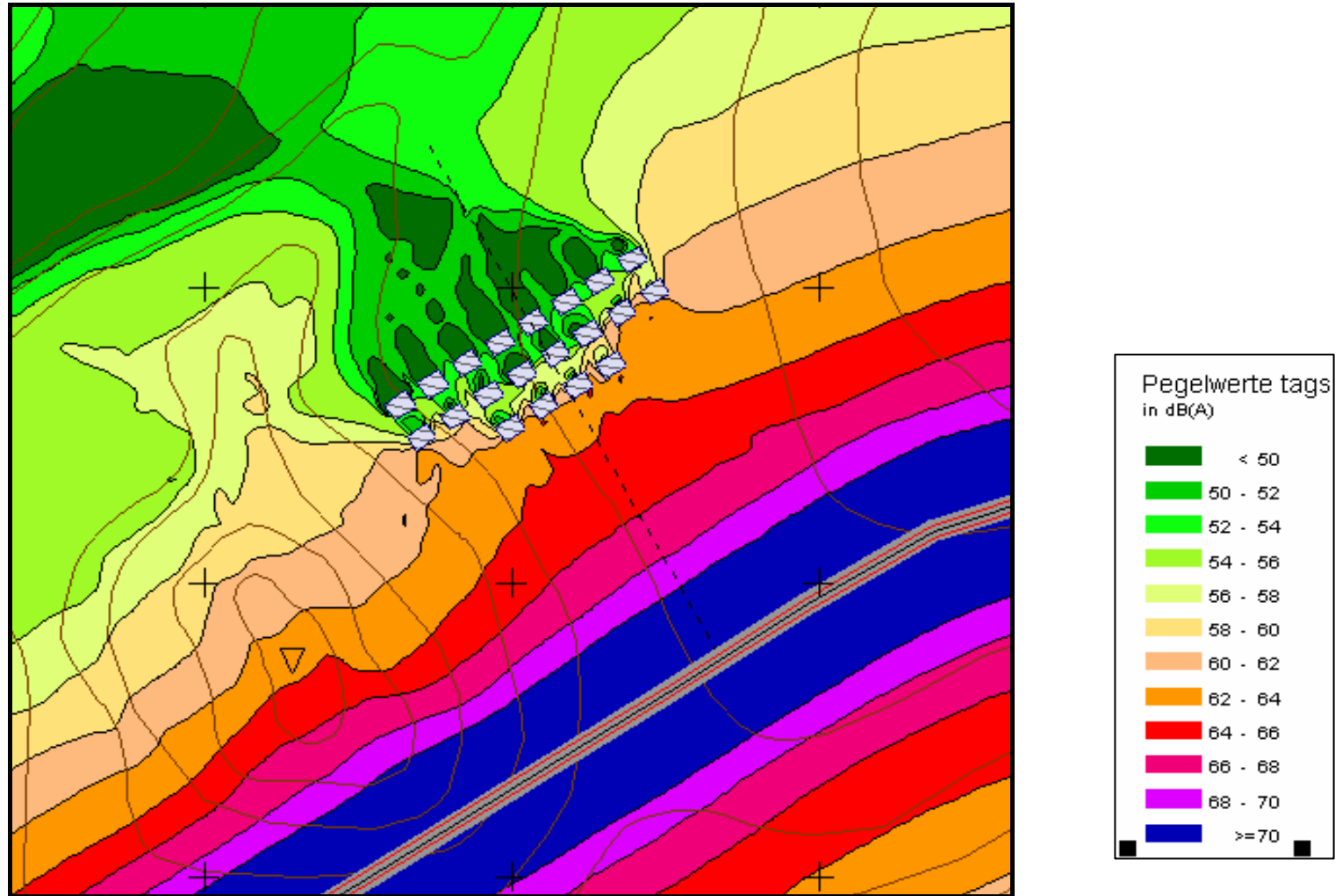


Abbildung 57: Rasterlärnkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Waschbetondeckschicht
(Beurteilungszeitraum Tag)

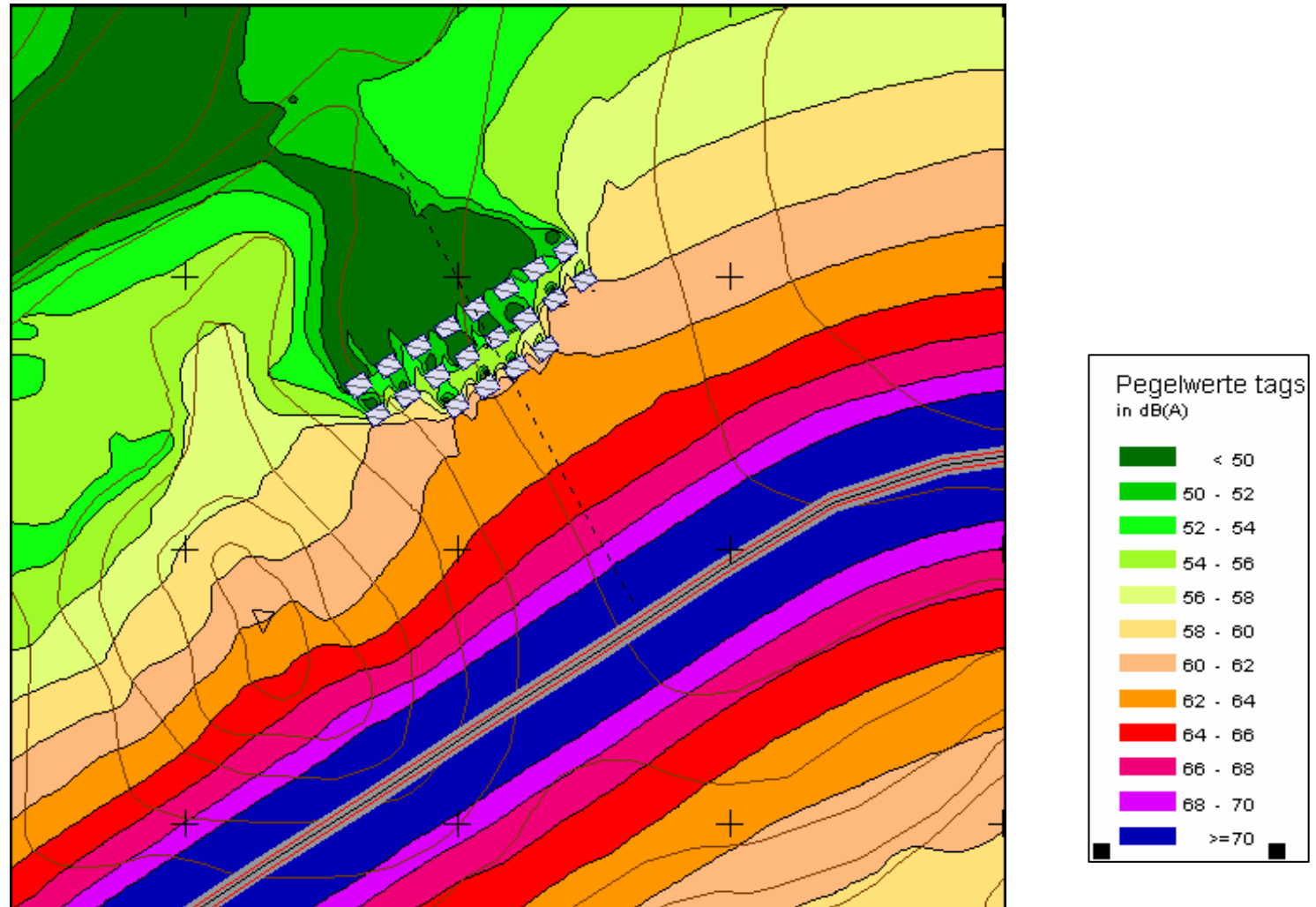


Abbildung 58: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Asphaltbetondeckschicht
(Beurteilungszeitraum Tag)

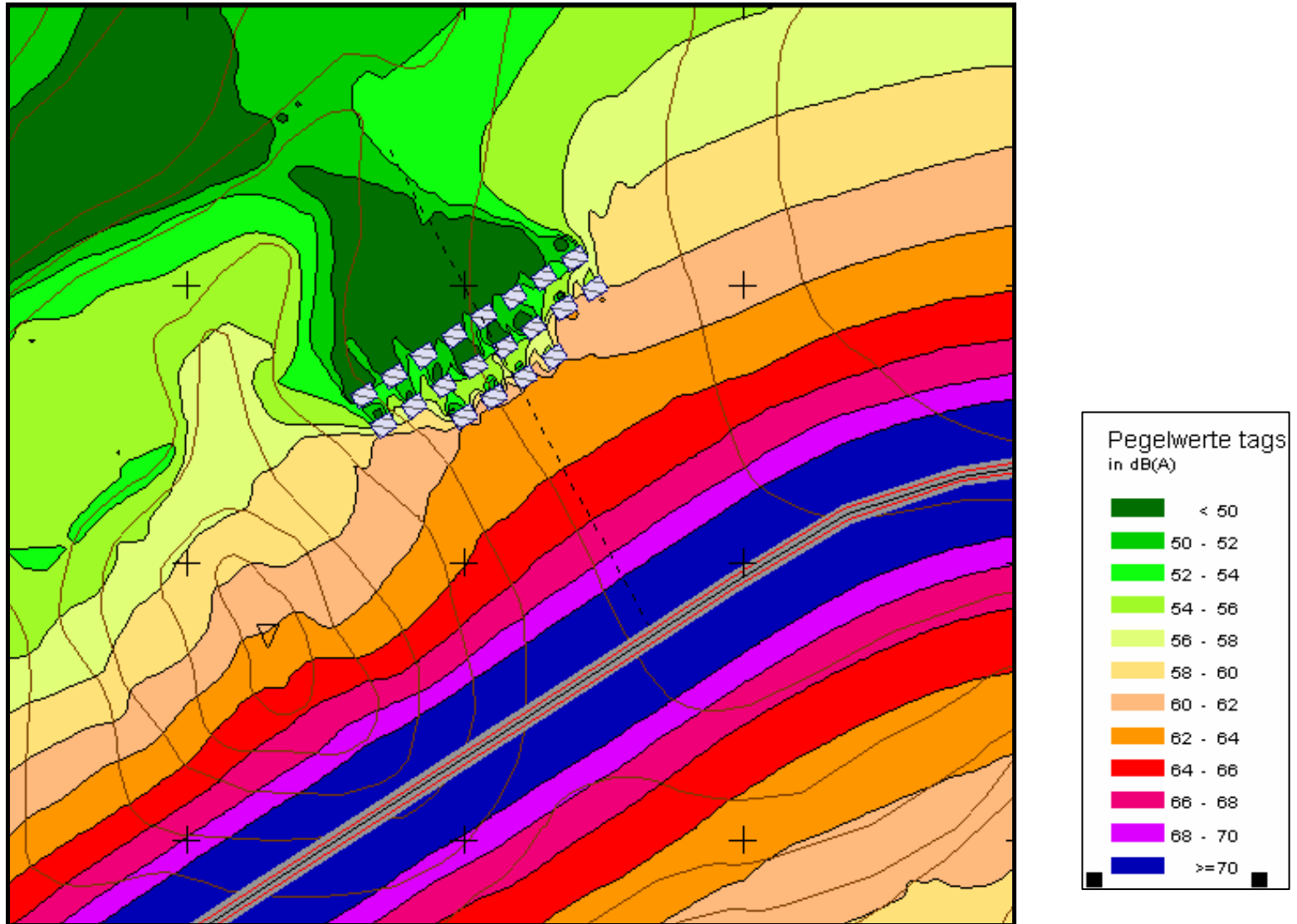


Abbildung 59: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Splittmastixasphaltdeckschicht
(Beurteilungszeitraum Tag)

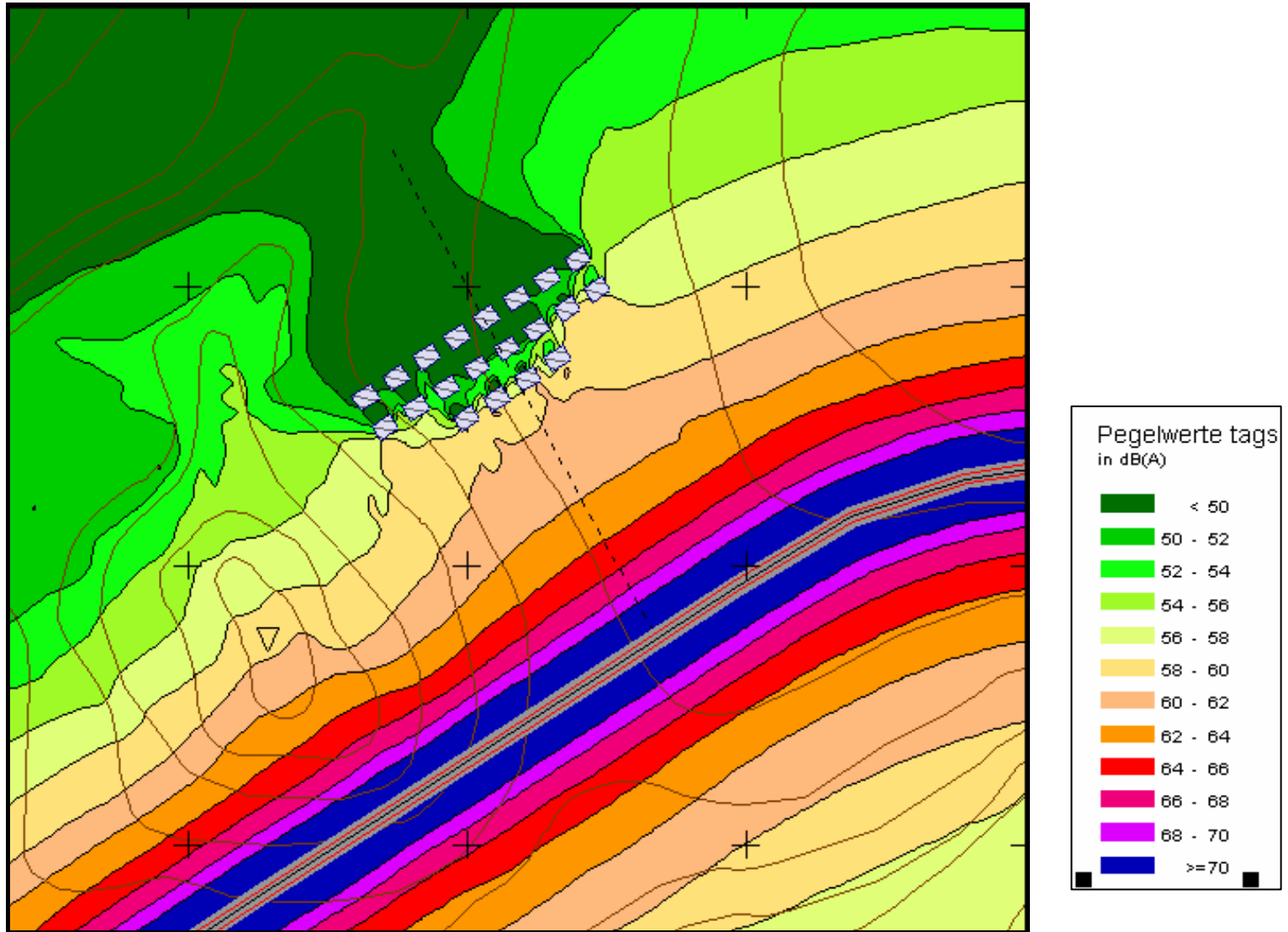


Abbildung 60: Rasterlärnkarte des untersuchten Geländemodells mit einer lärmindernden Splittmastixasphaltdeckschicht
(Beurteilungszeitraum Tag)

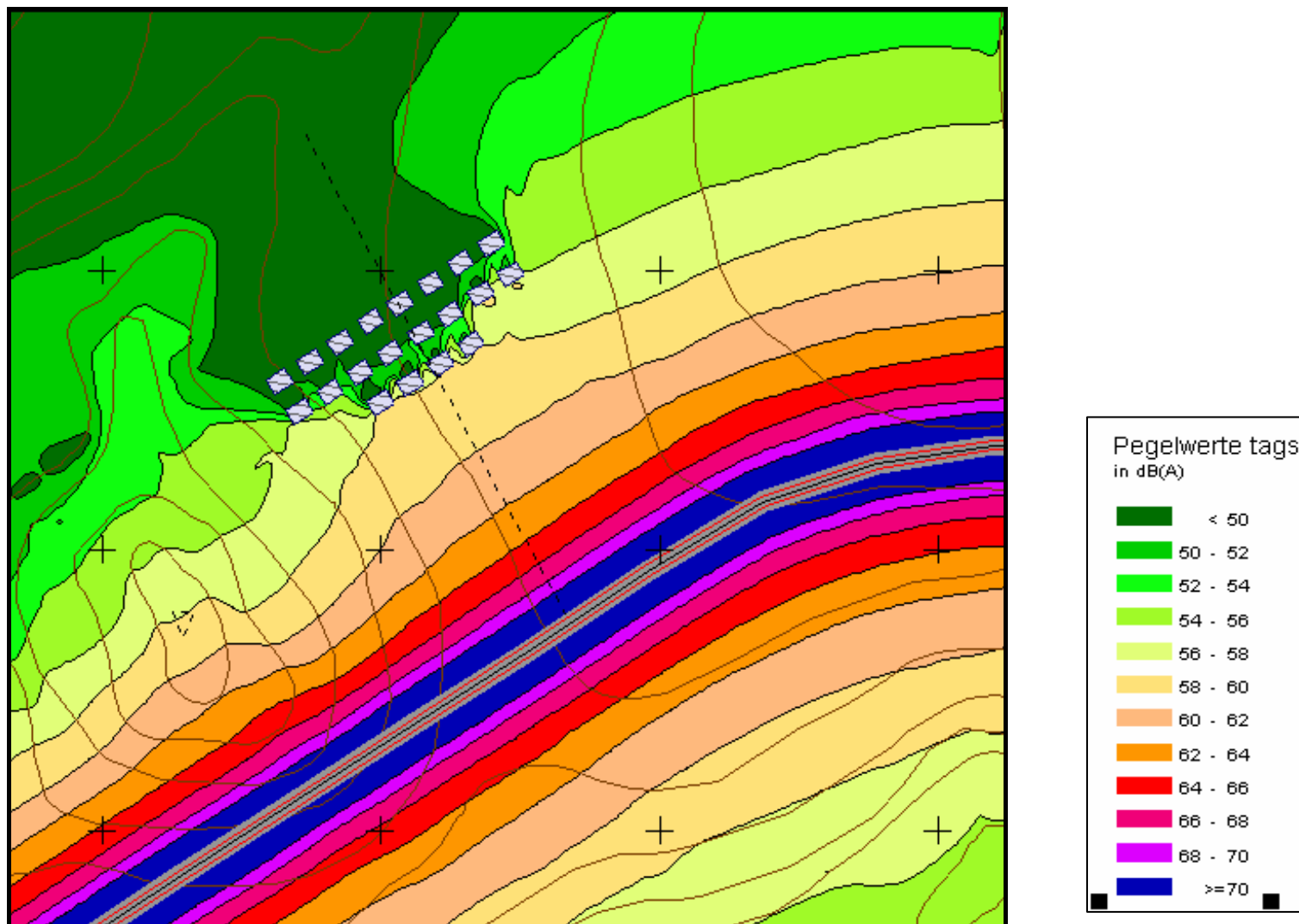


Abbildung 61: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Drainasphaltdeckschicht
(Beurteilungszeitraum Tag)

6.2.2 Beurteilungszeitraum Nacht

Die nächtliche Lärmsituation unterscheidet sich von der Tagsituation in Bezug auf die Verkehrs- und die entsprechende Lärmbelastung. Die Verkehrsbelastung für den Beurteilungszeitraum Nacht ist geringer als für den Zeitraum Tag. Allerdings existiert wegen des größeren Ruhebedürfnisses ein geringerer Immissionsgrenzwert für den Nachtzeitraum, der mit 50 dB nach [31] definiert ist.

In Abbildung 62 ist die Rasterlärmkarte im Fall einer Waschbetondeckschicht für die Lärmbelastung in der Nacht dargestellt. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass der Immissionsgrenzwert im Wohngebiet eindeutig überschritten wird. Erst in der dritten Häuserreihe kann ein ausreichender Lärmschutz beobachtet werden. Außerdem sind im diesen Fall Bereiche mit den größten Immissionspegelwerten, die über 70 dB betragen, nur mehr in der Nähe der Straße vorhanden. Es zeigt sich somit im Beurteilungszeitraum Nacht eine sehr ähnliche Tendenz wie in Beurteilungszeitraum Tag.

Abbildung 63 stellt die Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells für die Nachtbeurteilungszeit im Fall einer herkömmlichen Asphaltbetondeckschicht dar. Wie daraus ersichtlich, befinden sich die erste Häuserreihe sowie die Randhäuser der zweiten Reihe in den kritischen Bereichen, wo größere Pegelwerte als die Immissionsgrenzwerte ermittelt worden sind. Aus der Abbildung ist noch zu entnehmen, dass die Lärmausbreitung für den Beurteilungszeitraum Nacht im Fall der Asphaltbetondeckschicht ähnlich wie bei der Waschbetondeckschicht verläuft, jedoch weist der Asphaltbeton bessere Lärminderungseigenschaften als der Waschbeton auf.

Abbildung 64 zeigt die Lärmsituation im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht während des Nachtbeurteilungszeitraums. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass die Lärmausbreitung in ähnlicher Weise wie bei dem Waschbeton und bei dem Asphaltbeton verläuft, wobei der SMA für das ausgewählte Geländemodell ein kleineres Lärminderungspotenzial in der Nacht als die Asphaltbetondeckschicht aufweist.

Ein günstiger Lärmschutz des Wohngebiets kann in der Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells für die Nachtbeurteilungszeit im Fall einer lärm mindernden Splittmastixasphaltdeckschicht erkannt werden (siehe Abbildung 65). Die Bereiche mit den größten Pegelwerten sind wesentlich in der Nähe der Straße angeordnet und sind kleiner als 70 dB. Die Siedlung befindet sich gerade an der Grenze der kritischen Zonen. Es kann somit nicht eindeutig geschlossen werden, dass im Fall einer lärm mindernden Splittmastixasphaltdeckschicht das Wohngebiet ebenfalls im Beurteilungszeitraum Nacht keine zusätzliche Lärmschutzmaßnahme braucht. Dies lässt sich genauer aus den Analysen der Schnittlärnkarten und der Immissionsorte beurteilen.

Abbildung 66 stellt die Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells im Fall einer Drainasphaltdeckschicht in der Nacht dar. Die Zonen der größten Pegelwerte neben der Straße, die auch unter 70 dB liegen, sind kleiner als im Fall der lärm mindernden Splittmastixasphaltdeckschicht, das heißt, dass die Schallpegel direkt neben der Straße geringer als beim LSMA sind. Die Siedlung befindet sich im dunkelgrünen Bereich der Immissionspegel unter 50 dB. Somit zeigt sich, dass der Drainasphalt auch im Beurteilungszeitraum Nacht die Einwohner der Siedlung gegen den Verkehrslärm schützt.

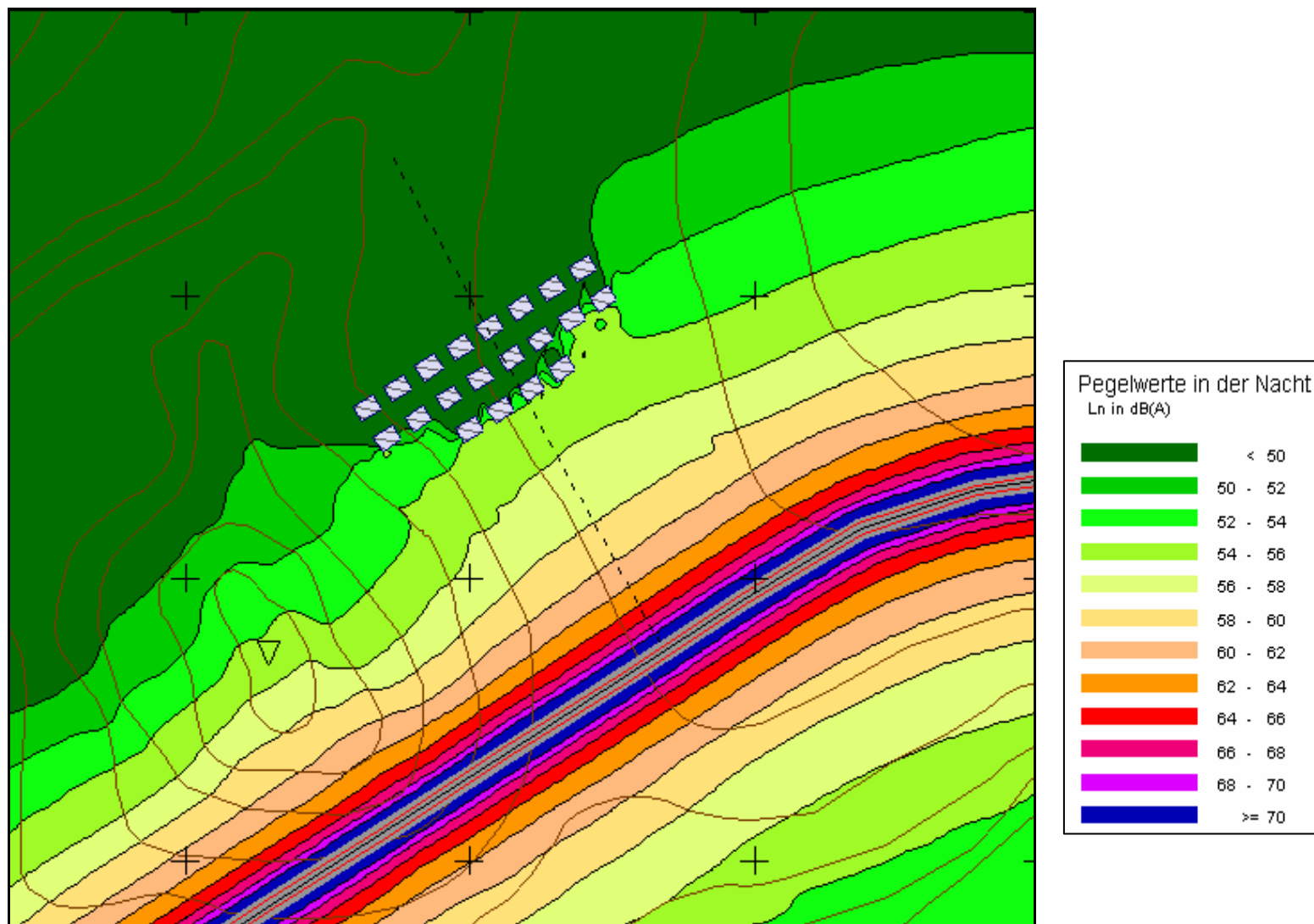


Abbildung 62: Rasterlärnkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Waschbetondeckschicht
(Beurteilungszeitraum Nacht)

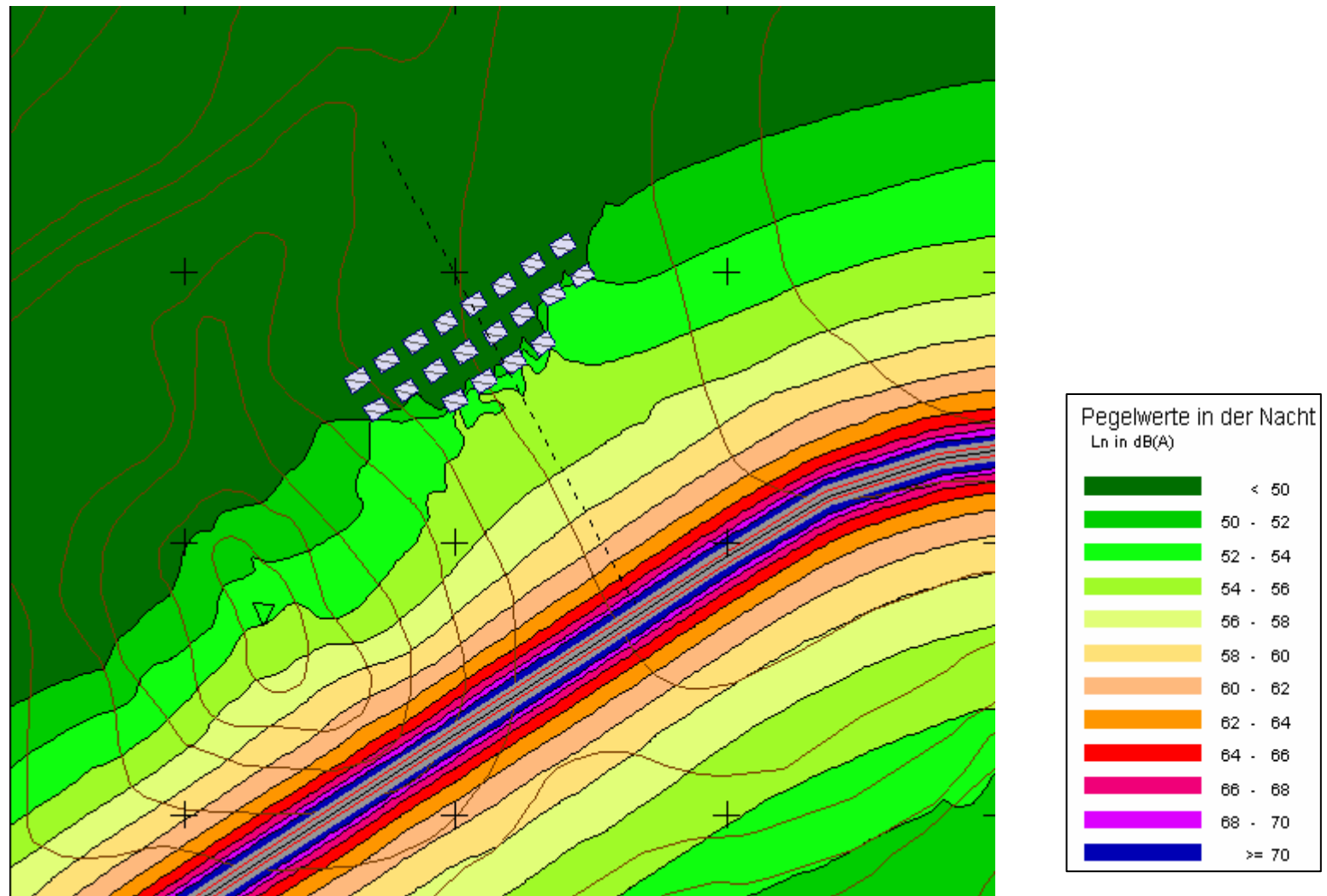


Abbildung 63: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Asphaltbetondeckschicht
(Beurteilungszeitraum Nacht)

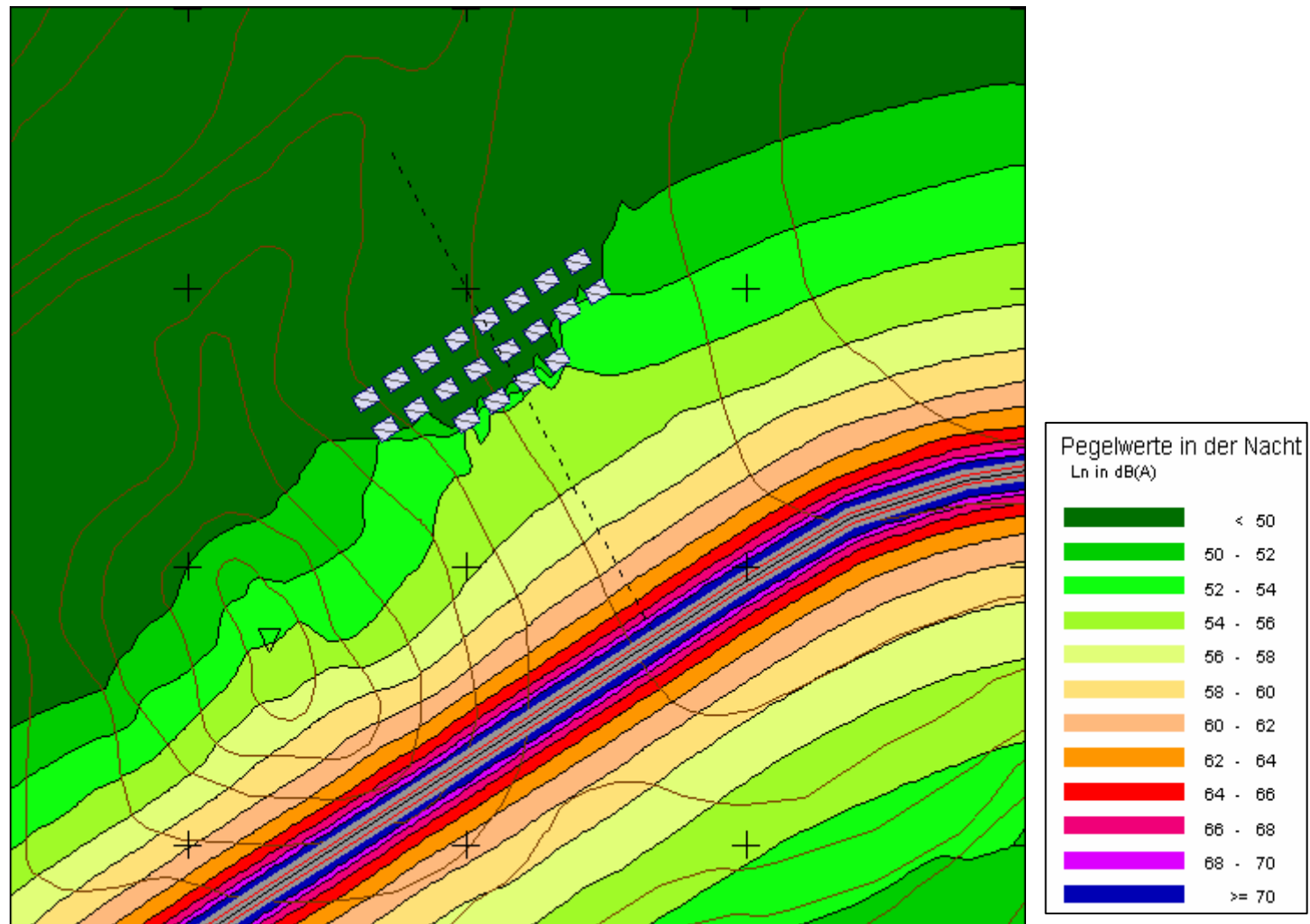


Abbildung 64: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Splittmastixasphaltdeckschicht
(Beurteilungszeitraum Nacht)

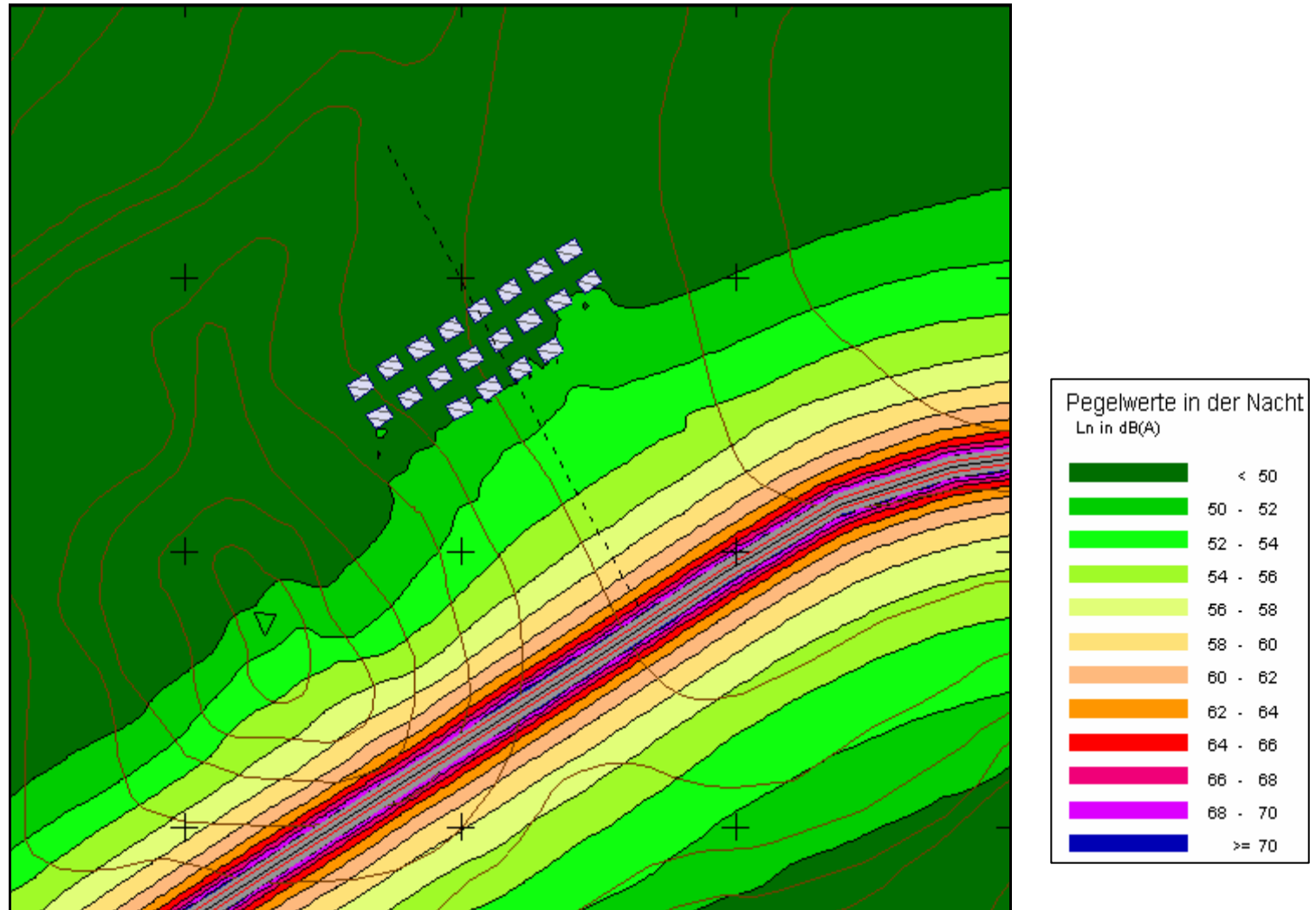


Abbildung 65: Rasterlärnkarte des untersuchten Geländemodells mit einer lärmindernden Splittmastixasphaltdeckschicht (Beurteilungszeitraum Nacht)

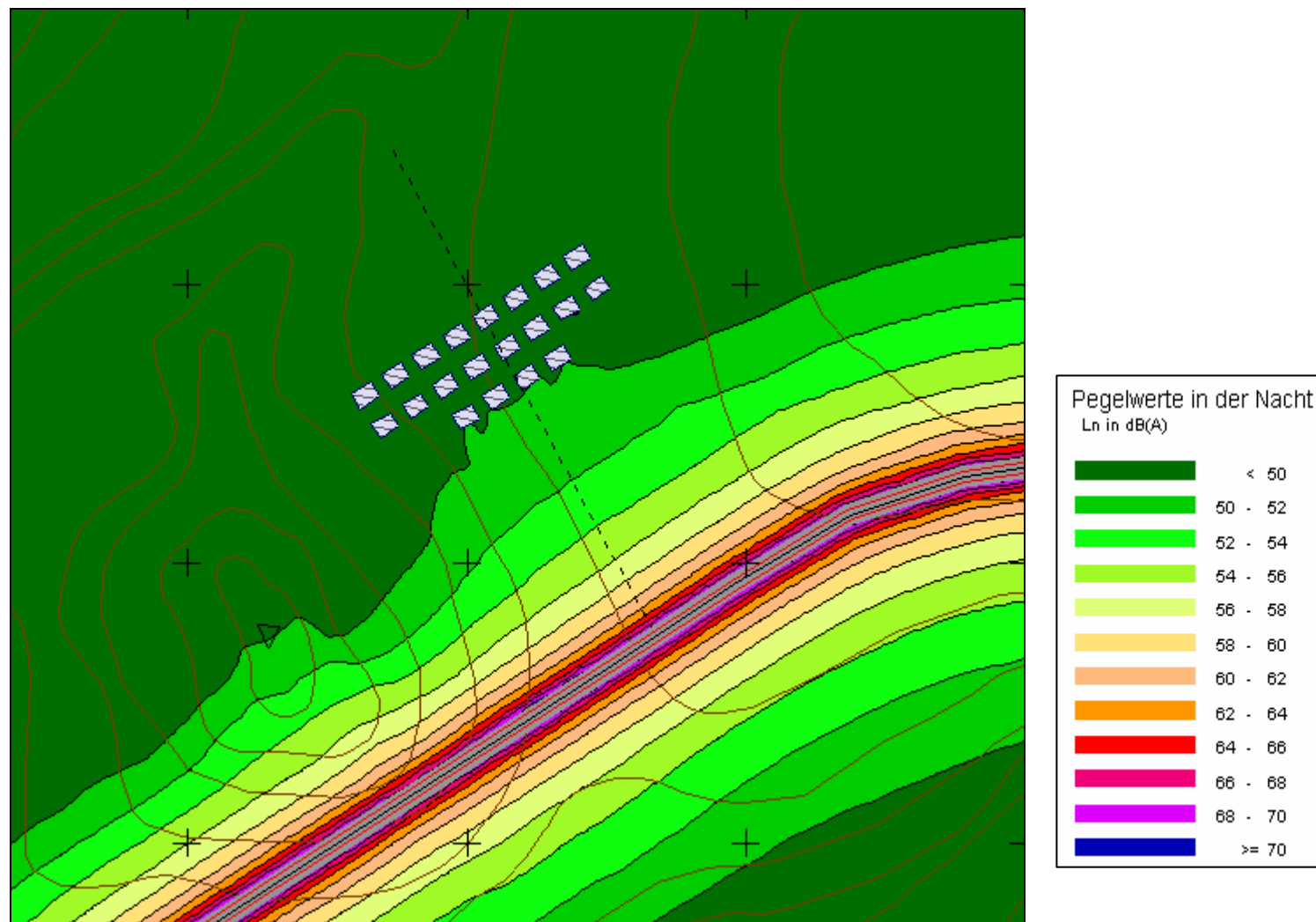


Abbildung 66: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Drainasphaltdeckschicht (Beurteilungszeitraum Nacht)

6.3 Analyse der erstellten Schnittlärmkarten ohne den Einsatz einer Lärmschutzwand

Die Schnittlärmkarten stellen die Lärmsituation des untersuchten Geländemodells in Bezug auf eine vertikale Ausbreitung durch einen bestimmten Schnitt dar.

Die Abbildung 67 stellt die Schnittlärmkarten für die fünf verschiedenen Deckschichten für den Beurteilungszeitraum Tag dar. Der Immissionsgrenzwert für den Tag ist dabei durch eine hellblaue Linie hervorgehoben. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass sich die Häuser der ersten Reihe für die Waschbeton-, die Asphaltbeton- und die Splittmastixasphaltdeckschicht im kritischen Bereich der Pegelwerte über dem Immissionsgrenzwert von 60 dB befinden. Im Gegensatz zum Fall einer Waschbetondeckschicht, wo die ganzen Gebäude zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen benötigen, erfordern die Häuser bei den anderen zwei Fällen, Asphaltbeton- und Splittmastixasphaltdeckschicht, nur für den zweiten Stock einen zusätzlichen Lärmschutz. Der lärmindernde Splittmastixasphalt und der Drainasphalt weisen ein ausreichendes Lärminderungspotenzial für die betrachtete Siedlung auf. Aus der Abbildung ist weiter zu entnehmen, dass die Immissionsgrenzwerte für die letzten zwei Fälle (für die lärmindernde Splittmastixasphalt- und Drainasphaltdeckschicht) etwa bis 70 m von der Straße entfernt liegen, das Wohngebiet ist also ca. 30 m von dieser Zone entfernt.

Die Abbildung 68 stellt die Schnittlärmkarten für die fünf verschiedenen Deckschichten für den Beurteilungszeitraum Nacht dar. Der Immissionsgrenzwert für den Nachtzeitraum ist mit einer roten Linie gekennzeichnet. Aus der Abbildung kann beobachtet werden, dass die Situation in der Nacht kritischer ist als am Tag. Die Häuser der ersten Reihe befinden sich in den Fällen für die Waschbeton-, für die Asphaltbeton- und für die Splittmastixasphaltdeckschicht im Bereich der Pegelwerte über dem Immissionsgrenzwert von 50 dB und brauchen einen zusätzlichen Lärmschutz für beide Stockwerke. Ebenso ist für die mittleren Gebäude im Fall einer Waschbetondeckschicht für den zweiten Stock eine zusätzliche Lärmschutzmaßnahme notwendig. Die lärmindernde Splittmastixasphaltdeckschicht weist ein gerade noch ausreichendes Lärminderungspotenzial auf, die untersuchte Siedlung bleibt außerhalb der Immissionsgrenzwerte. Die Drainasphaltdeckschicht zeichnet sich mit den besten Lärminderungseigenschaften aus. Aus der Abbildung ist sichtbar, dass im Fall einer Drainasphaltdeckschicht die Immissionsgrenzlinie etwa 10 m von der Siedlung entfernt ist, somit scheint das Wohngebiet völlig gegen zu hohe Immissionen geschützt zu sein.

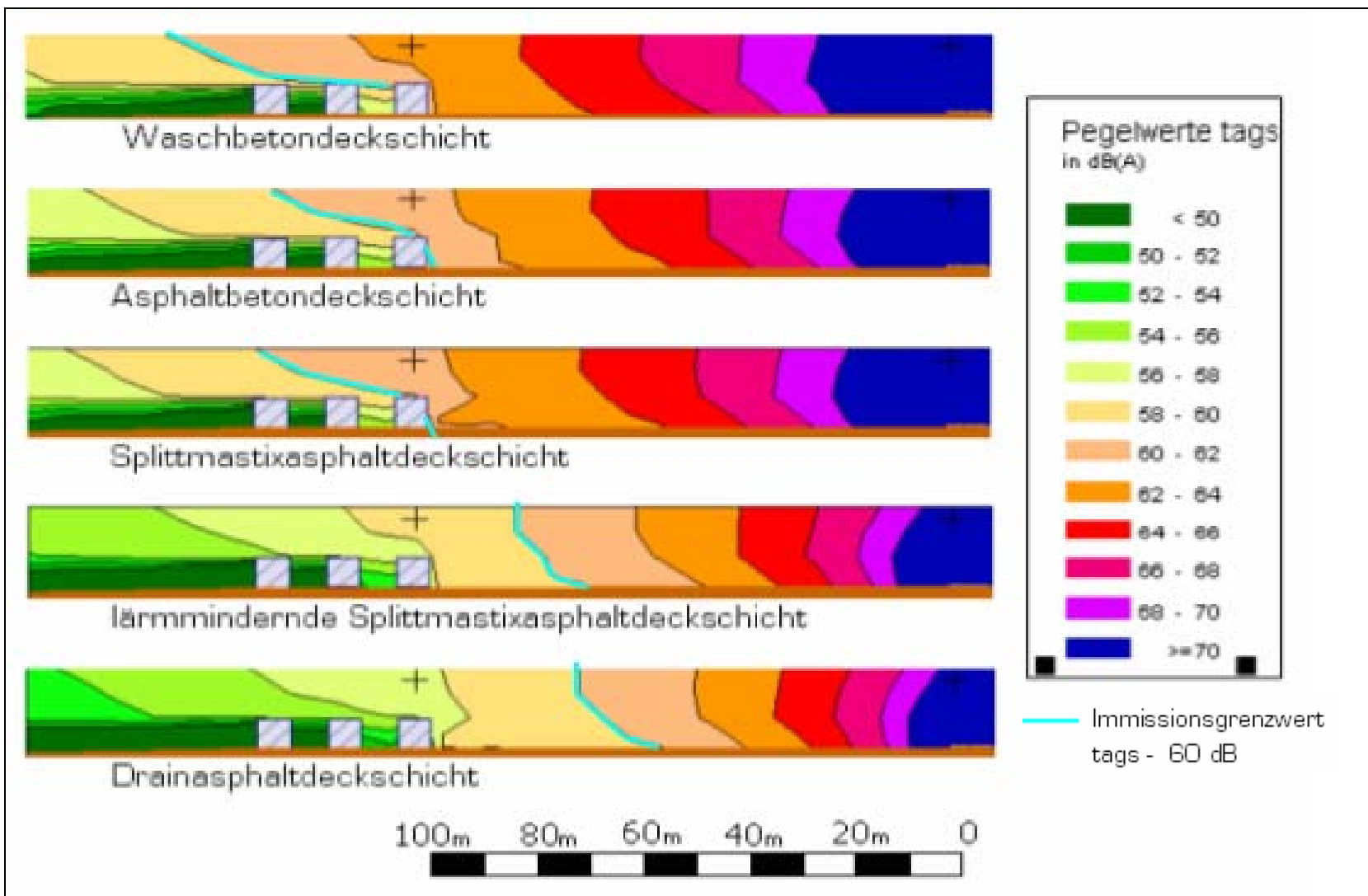


Abbildung 67: Schnittlärnkarten der verschiedenen Fahrbahndeckschichten für den Beurteilungszeitraum Tag

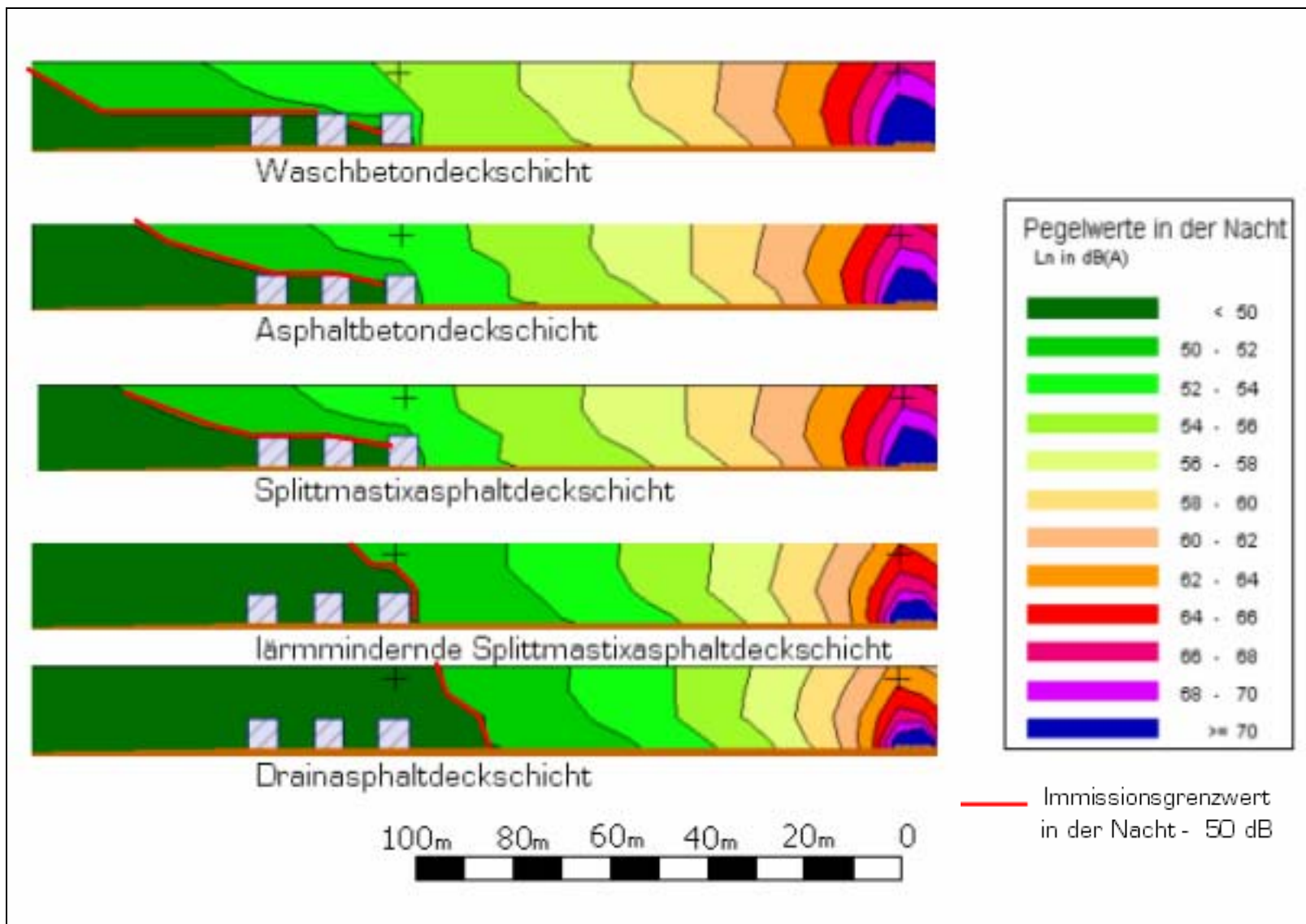


Abbildung 68: Schnittlärmmkarten der verschiedenen Fahrbahndeckschichten für den Beurteilungszeitraum Nacht

6.4 Analyse der Immissionsorte in der Siedlung

Die Pegelwerte der ausgewählten Immissionsorte charakterisieren das Schallereignis an bestimmten Orten der Siedlung.

Abbildung 69 stellt die ermittelten Pegelwerte für die ausgewählten Immissionsorte im Fall einer Waschbetondeckschicht dar. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass eine Überschreitung der Immissionsgrenzwerte in der ersten und zweiten Häuserreihe sowohl im Beurteilungszeitraum Tag, als auch im Beurteilungszeitraum Nacht stattfindet. Die größte Lärmbelastung ist im Immissionsort des Hauses 4 (erste Häuserreihe) für den zweiten Stock mit 62,3 dB(A) für den Tag und mit 53,9 dB(A) in der Nacht ermittelt worden. Somit ist die Überschreitung der Pegelwerte für den Nachtzeitraum größer als für den Tag und beträgt beinahe 4 dB(A).

Abbildung 70 veranschaulicht die ermittelten Pegelwerte für die ausgewählten Immissionsorte im Fall einer Asphaltbetondeckschicht. Die Abbildung zeigt, dass die Überschreitung der Immissionsgrenzwerte während des Tages nur in der ersten Häuserreihe zu erkennen ist. In diesem Fall ist ebenso die Überschreitung der Grenzwerte in der Nacht größer als die am Tag, wobei die Randhäuser der zweiten Reihe für die Nacht ebenfalls höhere Pegelwerte als den Immissionsgrenzwert aufweisen. Die größte Pegelwertüberschreitung ist diese, die dem Immissionsort des Hauses 4 für den zweiten Stock zugeordnet ist, und hat einen Betrag von ca. 3 dB(A).

Abbildung 71 repräsentiert die ermittelten Pegelwerte für die ausgewählten Immissionsorte im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass die ermittelten Pegelwerte ähnlich sind wie beim vorher beschriebenen Fall. Die größte Pegelüberschreitung beträgt auch hier ca. 3 dB(A).

Abbildung 72 stellt die ermittelten Pegelwerte für die ausgewählten Immissionsorte im Fall einer lärm mindernden Splittmastixasphaltdeckschicht dar. Es ist sichtbar, dass die Lärmbelastung deutlich kleiner ist, als die der ersten drei Fälle. Mit Ausnahme von dem Immissionsort am Haus 4 für den zweiten Stock und für den Nachtzeitraum, liegen alle anderen Pegelwerte unter den Immissionsgrenzwerten.

In Abbildung 73 sind die ermittelten Pegelwerte für die ausgewählten Immissionsorte im Fall einer Drainasphaltdeckschicht zu entnehmen. Wie in der Abbildung ersichtlich, liegen alle Pegelwerte unter den Immissionsgrenzwerten.

Aus der Analyse ist weiter zu erkennen, dass der Drainasphalt gegenüber dem Waschbeton ein Lärminderungspotenzial von bis zu 5 dB(A) und ca. 4 dB(A) gegenüber dem Asphaltbeton aufweist. Der lärm mindernde Splittmastixasphalt zeigt die zweitbesten Lärminderungseigenschaften und sein Lärminderungspotenzial reicht bis zu 4 dB(A) gegenüber den Waschbeton und ca. 3 dB(A) gegenüber dem Asphaltbeton. Der Asphaltbeton selbst und der Splittmastixasphalt weisen ein ähnliches Lärminderungspotenzial von etwa 1 dB(A) in Bezug auf den Waschbeton auf.

Aus der durchgeführten Analyse der fünf verschiedenen Deckschichten ist zu schließen, dass sowohl der Waschbeton, als auch der AB und der SMA kein ausreichendes Lärminderungspotenzial entwickelt haben um die Siedlung gegen den Verkehrslärm zu schützen. Daher ist hier der Einsatz einer Lärmschutzwand erforderlich.

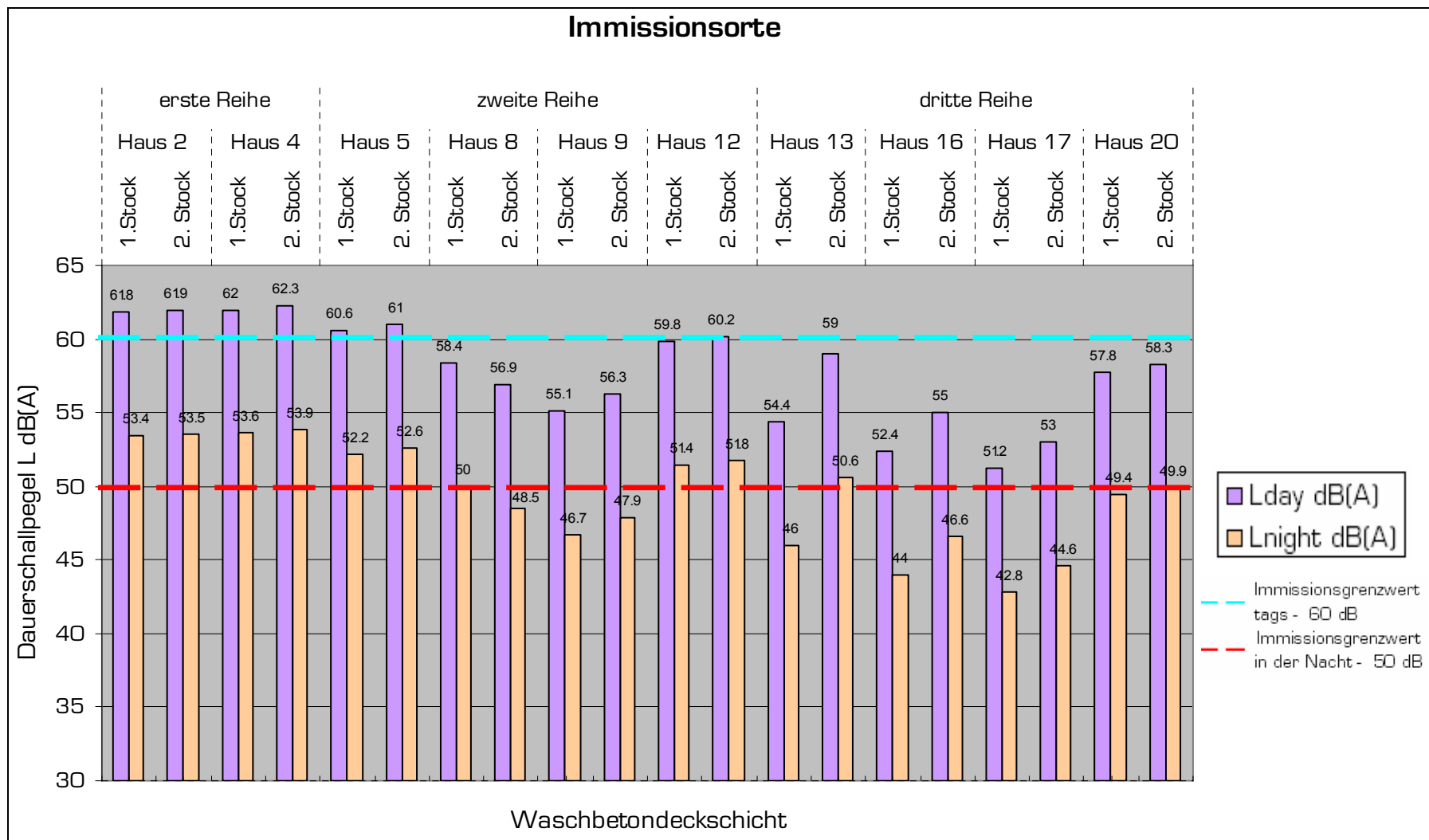


Abbildung 69: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Waschbetondeckschicht

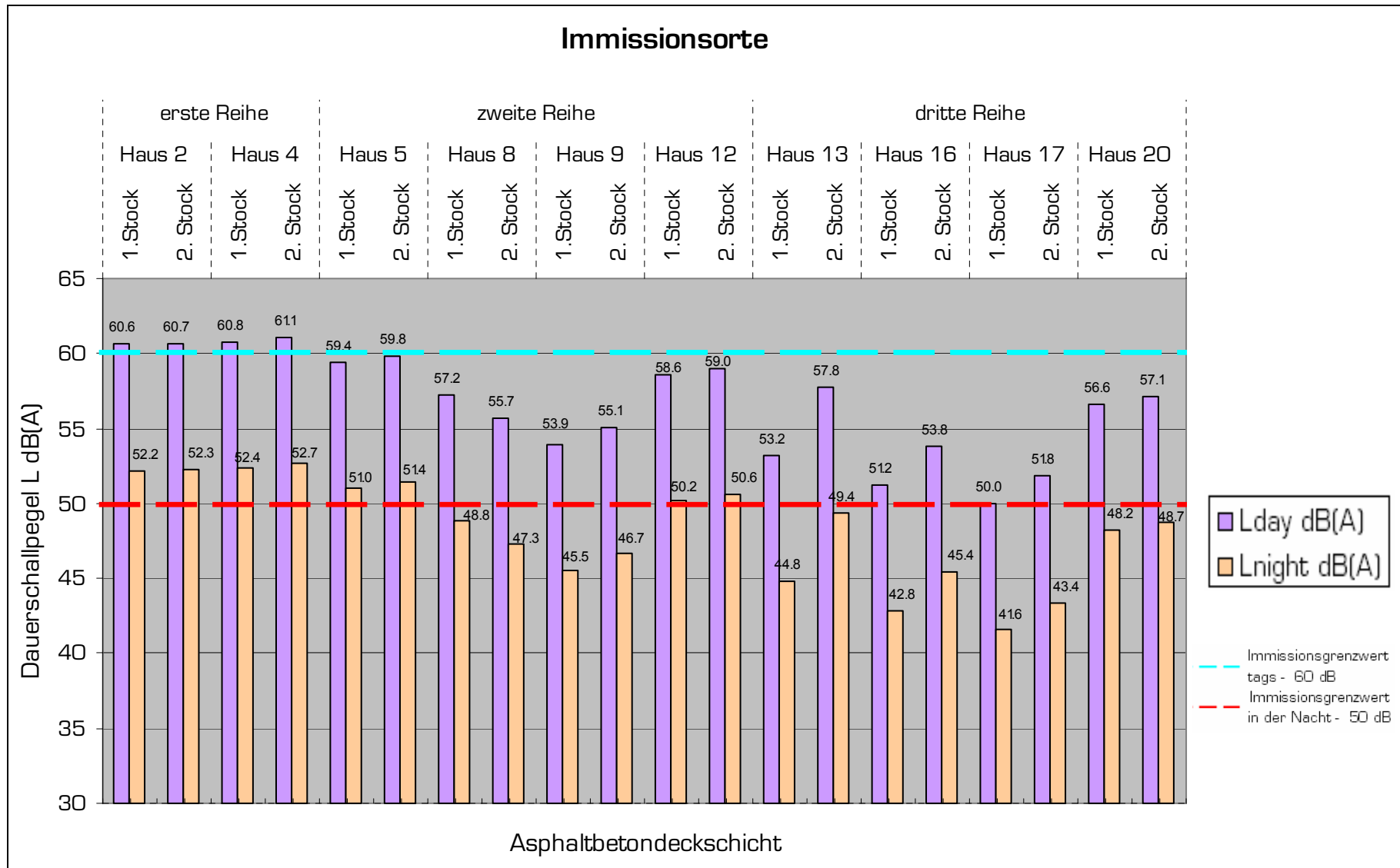


Abbildung 70: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Asphaltbetondeckschicht

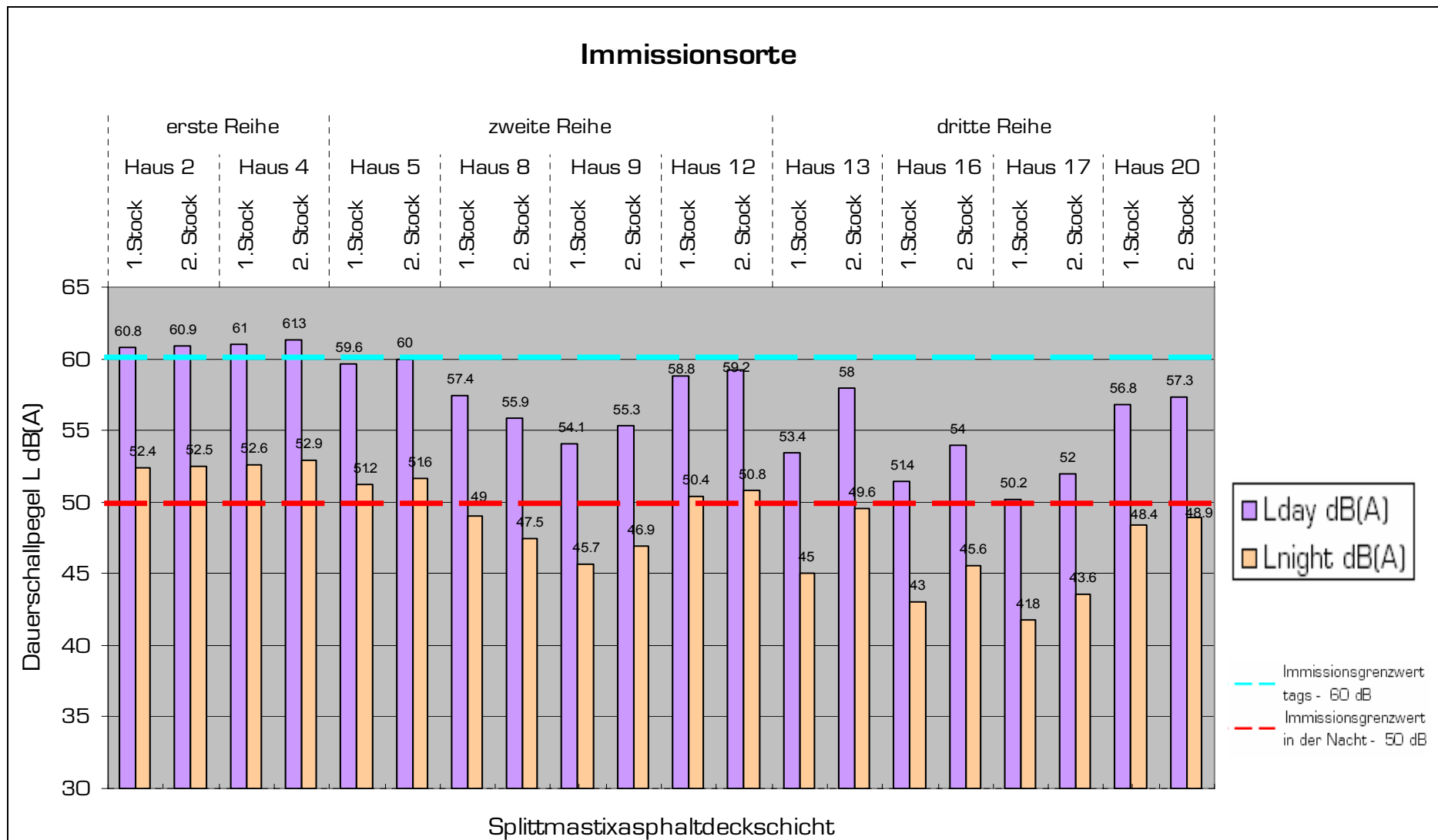


Abbildung 71: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht

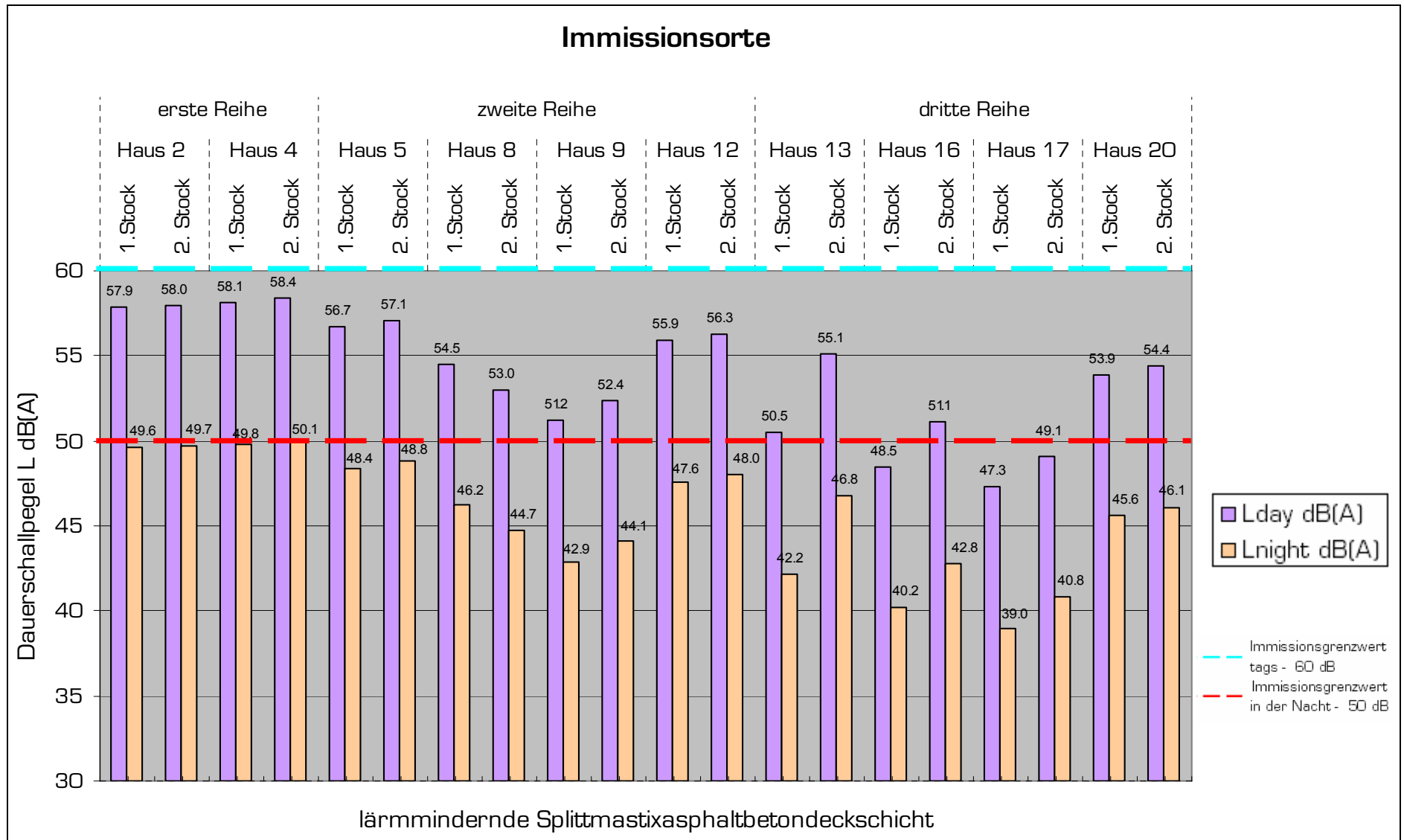


Abbildung 72: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer lärmindernden Splittmastixasphalbetondeckschicht

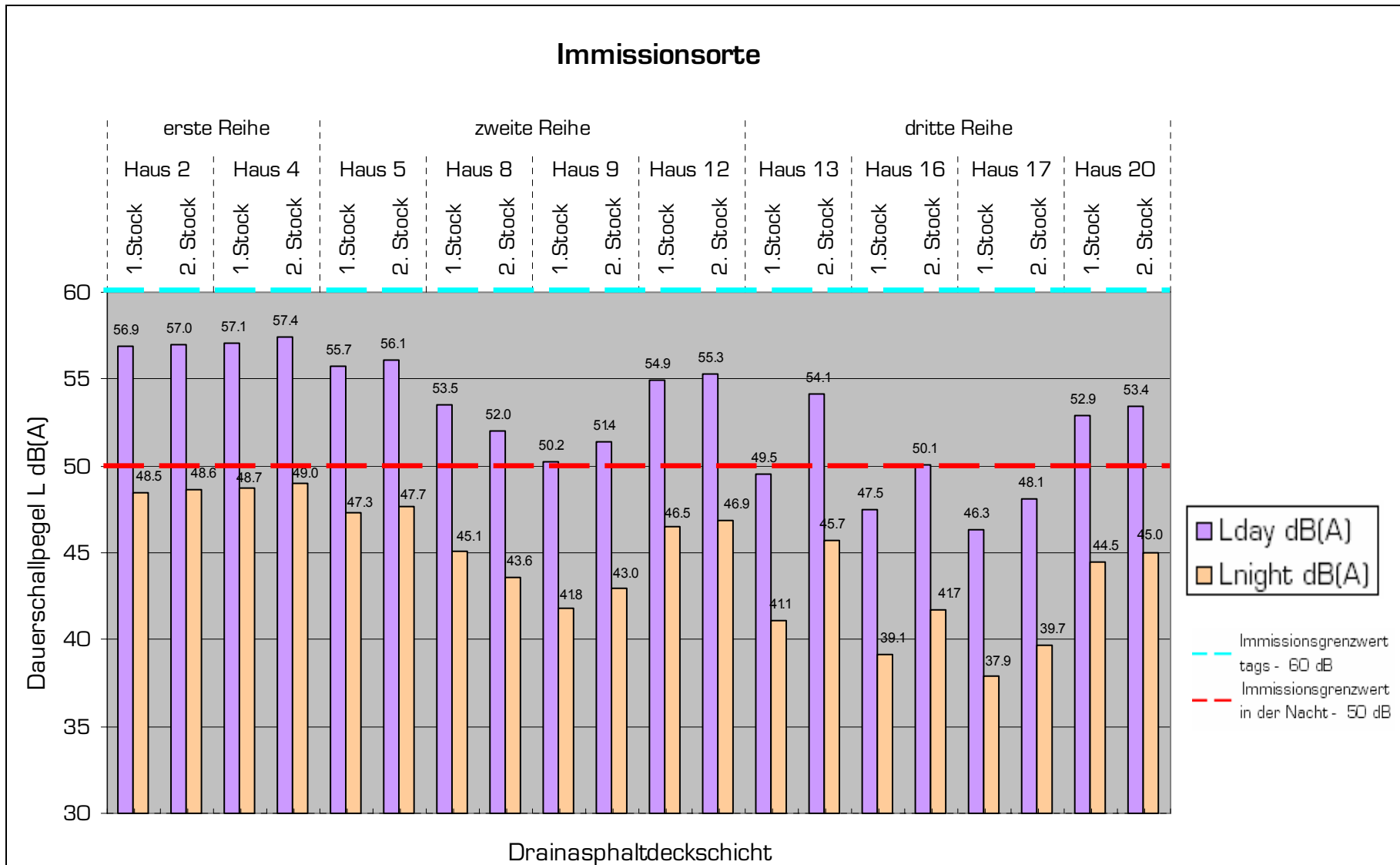


Abbildung 73: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Drainasphaltdeckschicht

6.5 Auswertung der Ergebnisse mit einer Lärmschutzwand

Aus der ursprünglichen Untersuchung der fünf verschiedenen Deckschichttypen in Hinblick auf ihr Lärminderungspotenzial ist zu schließen, dass die Waschbeton-, die Asphaltbeton- und die Splittmastixasphaltdeckschicht selbst keinen ausreichenden Lärmschutz für die betrachtete Siedlung gewährleisten konnten. In diesem Zusammenhang wird im Rahmen dieser Arbeit eine weitere computerunterstützte Untersuchung dieser Fahrbahndeckschichttypen mit dem Einsatz einer geraden Lärmschutzwand als zusätzliche bautechnische Lärmschutzmaßnahme durchgeführt.

Die Lärmschutzwand charakterisiert sich mit einer Länge von 275 m, die aufgrund der topographischen Besonderheiten des untersuchten Geländemodells ausgewählt wurde (siehe Abbildung 74). Sie ist aus Aluminium und ist auf der linken Seite der Straße direkt am Bankettrand positioniert, wodurch sie die möglichst besten Abschirmeffekte gegenüber dem Wohngebiet aufweisen kann.

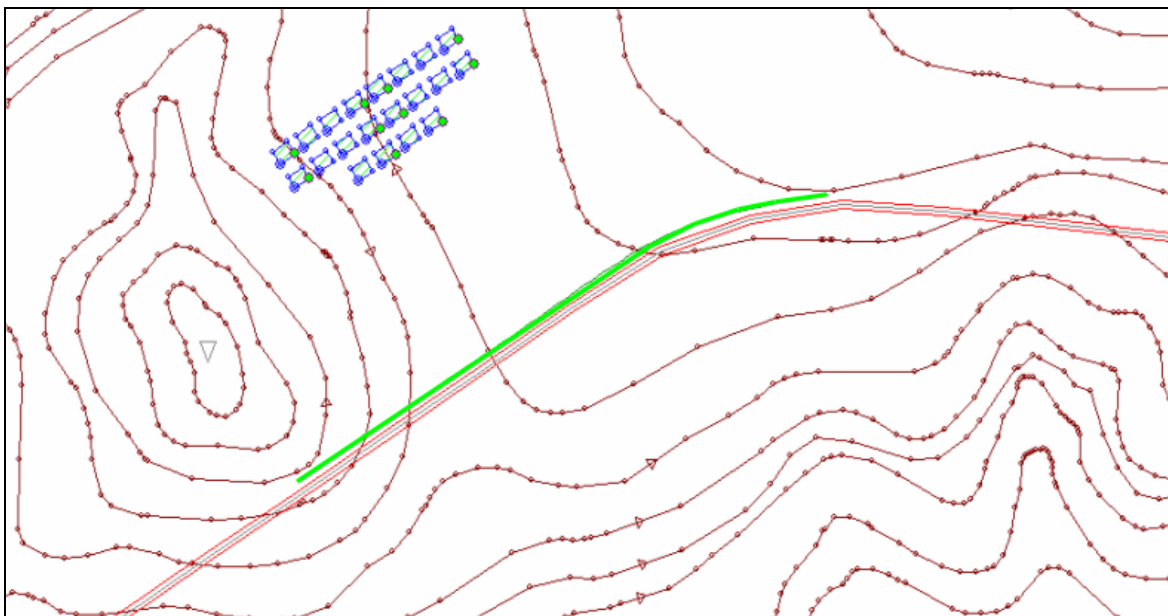


Abbildung 74: Lageplan des untersuchten Geländemodells mit einer 275 m langen Lärmschutzwand

Die Wandhöhe H_L wird durch den Optimierungsprozess des Programms SoundPLAN bestimmt. Die kritischste Lärmbelastung, die für das ausgewählte Geländemodell die Lärmbelastung in der Nacht ist, wird dabei als maßgebende betrachtet. Der Optimierungsvorgang erfolgt für die ausgewählten Immissionsorte in der Siedlung sowohl für den ersten, als auch für den zweiten Stock. Die erhaltene Wandhöhe ist die Mindestwandhöhe, die notwendig ist, damit die Lärmschutzwand als eine zusätzliche bautechnische Lärminderungsmaßnahme einen genügenden Lärmschutz gegenüber der untersuchten Siedlung erreichen kann.

6.6 Analyse der erstellten Rasterlärmkarten des untersuchten Geländemodells mit einer optimierten Lärmschutzwand

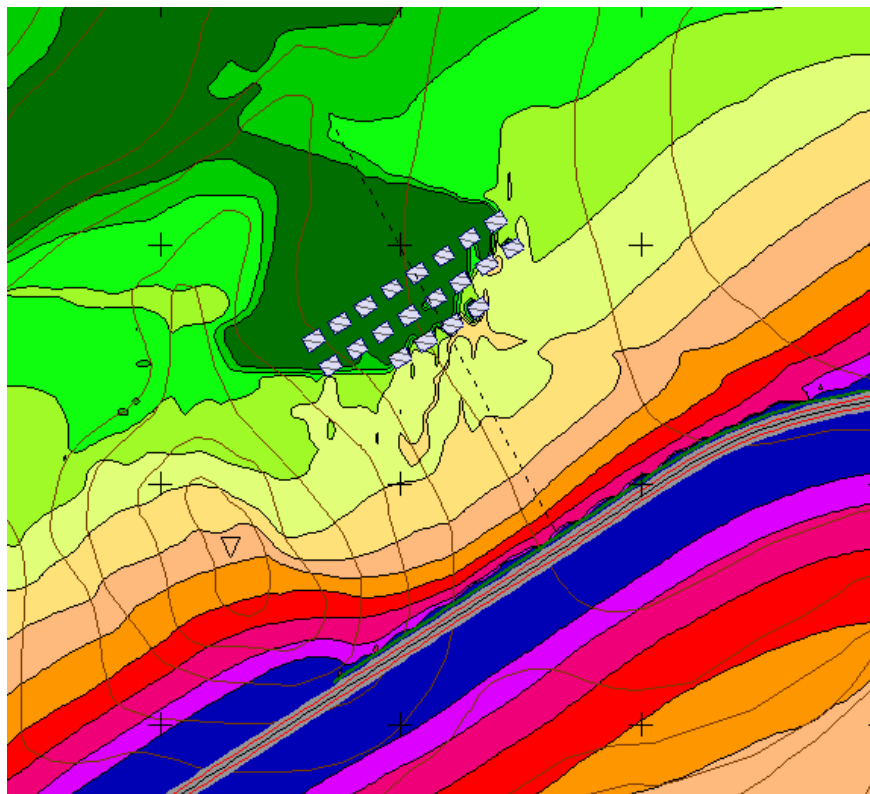
Aus den Modellberechnungen des Programms SoundPLAN für die verschiedenen Deckschichttypen sind folgende Ergebnisse für die optimierte Lärmschutzwandhöhe erhalten worden:

- $H_L=2,50$ m für die Waschbetondeckschicht
- $H_L=2,00$ m für die Splittmastixasphaltdeckschicht
- $H_L=1,75$ m für die Asphaltbetondeckschicht

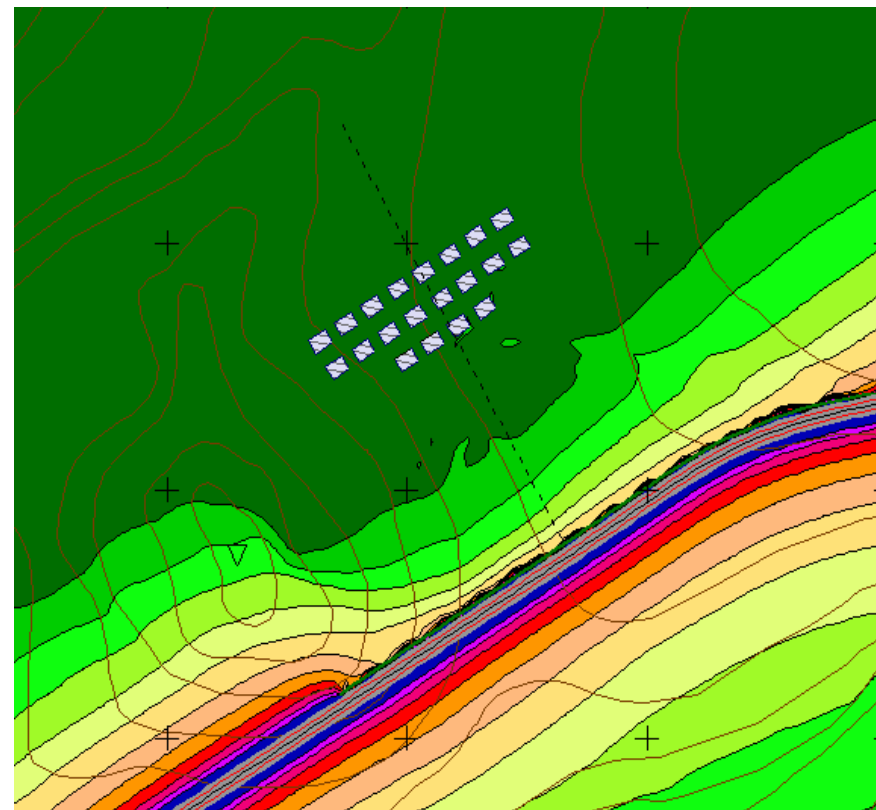
Die ermittelten Wandhöhen sind allerdings jenen Wandelementen zugeordnet, die die größte Lärmbelastung abschirmen müssen. Aufgrund der topographischen Besonderheiten des untersuchten Geländemodells und der Lage der Straße für den betrachteten Straßenabschnitt, sind die Randwandelemente der größten Lärmbelastung aufgesetzt. Im Gegensatz würden bei den mittleren Wandelementen kleinere Wandhöhen ausreichen, um die zugehörige Lärmbelastung abschirmen zu können. Trotzdem wird aus technologischen Überlegungen eine konstante Wandhöhe für die optimierte Lärmschutzwand festgelegt, die gleich der größten ermittelten Wandelementhöhe ist³.

Die in den Abbildungen 75, 76 und 77 dargestellten Rasterlärmkarten für die verschiedenen Beurteilungszeiträume Tag und Nacht für die Waschbeton-, Asphaltbeton- und die Splittmastixasphaltdeckschicht zeigen die Lärmausbreitung im untersuchten Geländemodell mit dem zusätzlichen Einsatz einer optimierten geraden Lärmschutzwand. Aus den Abbildungen ist zu erkennen, dass die Lärmschutzwand für die drei verschiedenen Fälle einen deutlichen Abschirmungseffekt aufweist. Die drei Fälle der unterschiedlichen Deckschichttypen haben die fast gleichen Lärminderungseffekte durch die verschiedenen Wandhöhen erreicht. Dabei weist die Waschbetondeckschicht das kleinste Lärminderungspotenzial auf und braucht die höchste Lärmschutzwand mit 2,50 m Höhe. Im Gegensatz dazu zeichnet sich die Asphaltbetondeckschicht mit den besten Lärmreduktionseigenschaften im Vergleich zu den anderen zwei Deckschichten aus und benötigt eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 1,75 m. Die Splittmastixasphaltdeckschicht nimmt die mittlere Position in Bezug auf das Lärminderungspotenzial und erfordert eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 2,00 m.

³ Anmerkung: Der Einsatz einer konstanten Wandhöhe führt damit zu einer zusätzlichen Verminderung der bereits durch den Optimierungsvorgang ermittelten Schallpegel der zugeordnete Immissionsorte



Beurteilungszeitraum Tag

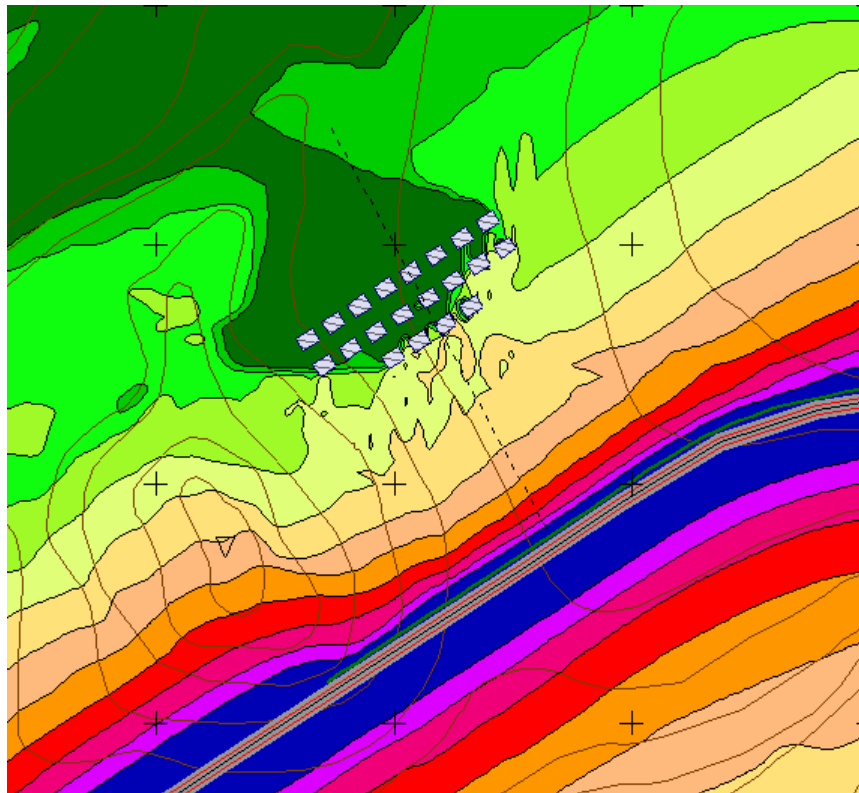


Beurteilungszeitraum Nacht

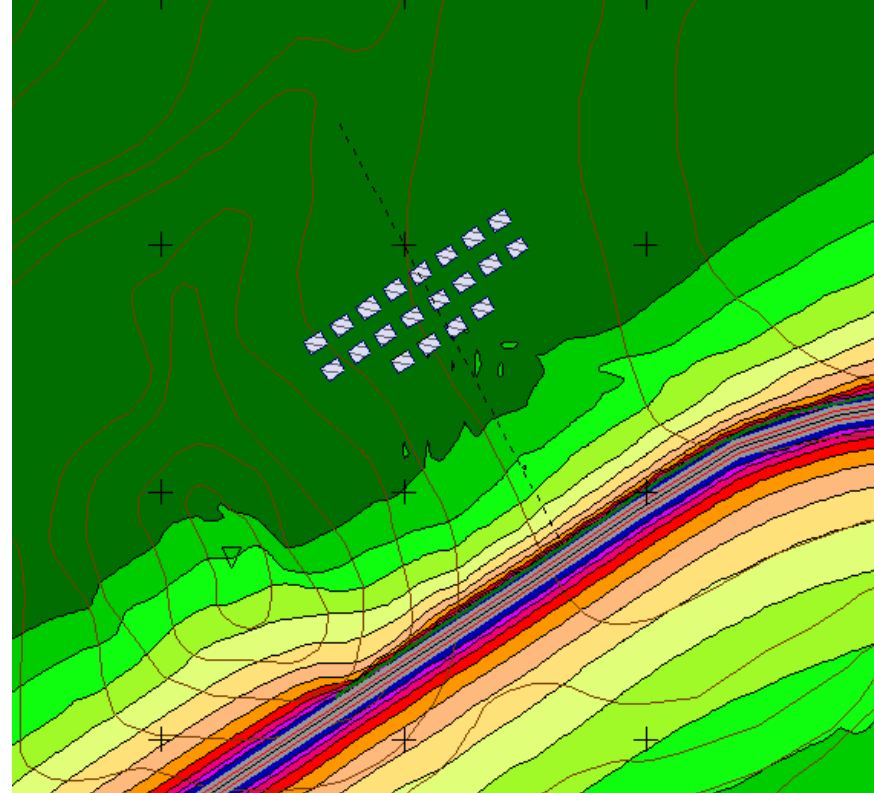
Pegelwerte in dB(A)



Abbildung 75: Rasterlärnkarten des untersuchten Geländemodells für die verschiedenen Beurteilungszeiträume mit einer Waschbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=2,50$ m



Beurteilungszeitraum Tag

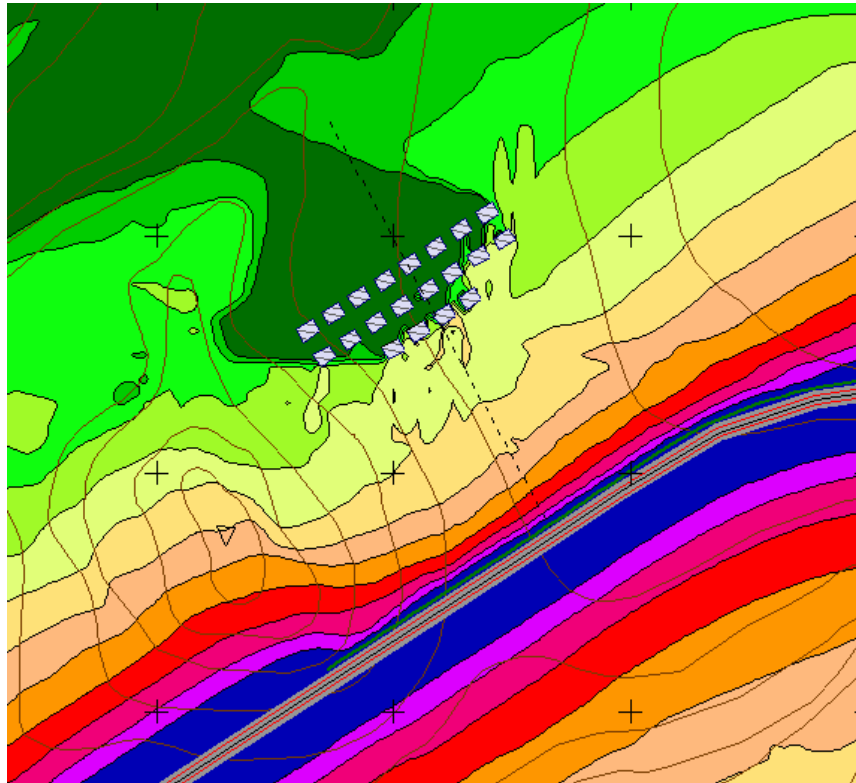


Beurteilungszeitraum Nacht

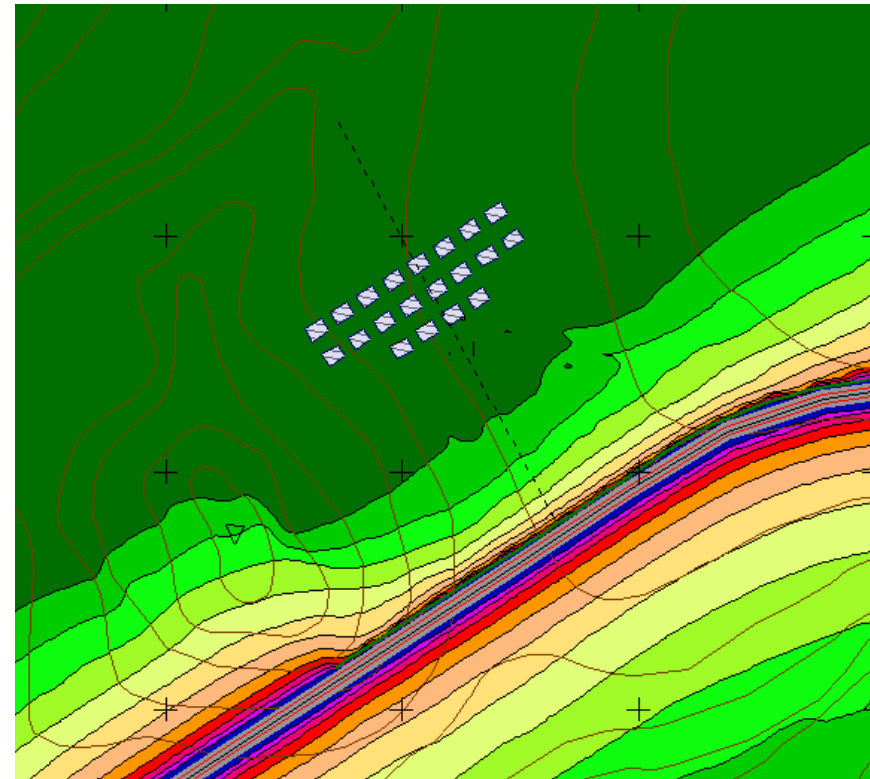
Pegelwerte in dB(A)



Abbildung 76: Rasterlärmkarten des untersuchten Geländemodells für die verschiedenen Beurteilungszeiträume mit einer Asphaltbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=1,75$ m



Beurteilungszeitraum Tag



Beurteilungszeitraum Nacht

Pegelwerte in dB(A)



Abbildung 77: Rasterlärnkarten des untersuchten Geländemodells für die verschiedenen Beurteilungszeiträume mit einer Splittmastixasphaltdeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=2,00$ m

6.7 Analyse der erstellten Schnittlärmkarten des untersuchten Geländemodells mit einer optimierten Lärmschutzwand

Die folgenden Abbildungen zeigen die Schnittlärmkarten der untersuchten Deckschichten sowohl ohne, als auch mit dem Einsatz einer optimierten Lärmschutzwand. Somit wird versucht, den Abschirmeffekt der Lärmschutzwand in vertikaler Richtung durch den bestimmten Schnitt zu zeigen.

Abbildung 78 stellt die Schnittlärmkarten für die drei verschiedenen Deckschichttypen während des Tages im Fall ohne und mit dem Einsatz einer Lärmschutzwand dar. Der Immissionsgrenzwert für den Tag ist dabei ebenfalls durch eine hellblaue Linie hervorgehoben. Aus der Abbildung ist zu sehen, dass der Einsatz einer Lärmschutzwand eindeutig die Lärmsituation der betrachteten Siedlung verbessert. Alle Häuser, die sich im Fall ohne den Einsatz einer Lärmschutzwand im Bereich der Pegelwerte über der Immissionsgrenzwert befunden haben, geraten im Fall mit dem Einsatz einer Lärmschutzwand weit außerhalb der kritischen Zonen. Wie die Abbildung veranschaulicht, werden durch die verschiedenen Wandhöhen für die drei unterschiedlichen Deckschichttypen beinahe gleiche Lärminderungseffekte erreicht. Die Bereiche der kritischen Pegelwerte sind bis etwa 60 m von der Straße entfernt. Allerdings weist der Waschbeton zusammen mit der 2,50 m hohen Lärmschutzwand das größte Lärmschutzvermögen für die gesamte Siedlung auf.

Abbildung 79 stellt die Schnittlärmkarten für die drei verschiedenen Deckschichttypen für den Nachtbeurteilungszeitraum im Fall ohne und mit dem Einsatz einer Lärmschutzwand dar. Der Immissionsgrenzwert für den Nachtzeitraum ist ebenfalls mit einer roten Linie gekennzeichnet. Wie aus der Abbildung ersichtlich, ist die Lärmbelastung im Bezug auf den zulässigen Wert im Beurteilungszeitraum Nacht größer und folglich sind die Bereiche der Immissionswerte, die über den Immissionsgrenzwert liegen, mehr in der Richtung der Siedlung angeordnet. Trotzdem liegen alle Häuser für alle Deckschichttypen und dem Einsatz einer Lärmschutzwand außerhalb der kritischen Zone. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass die drei Lärmsituationen für die unterschiedlichen Deckschichttypen aufgrund der verschiedenen Wandhöhen ebenfalls beinahe gleiche Verteilung der Schallpegelwerte aufweisen. Die Zone der kritischen Pegelwerte ist ca. 20 m von der Siedlung entfernt.

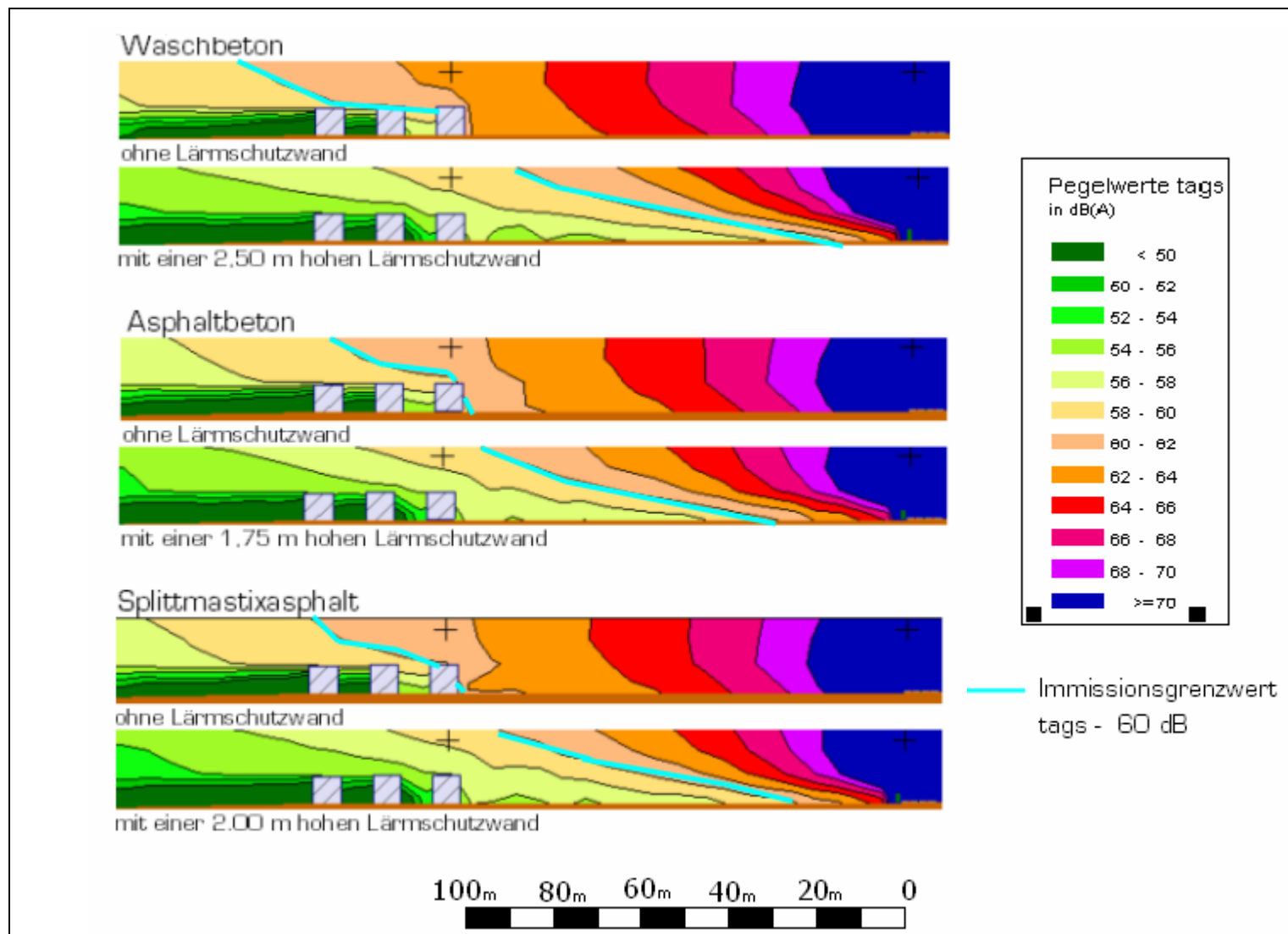


Abbildung 78: Schnittlärmmkarten der verschiedenen Fahrbahndeckschichten für die Lärmbelastung während des Tages mit dem zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand

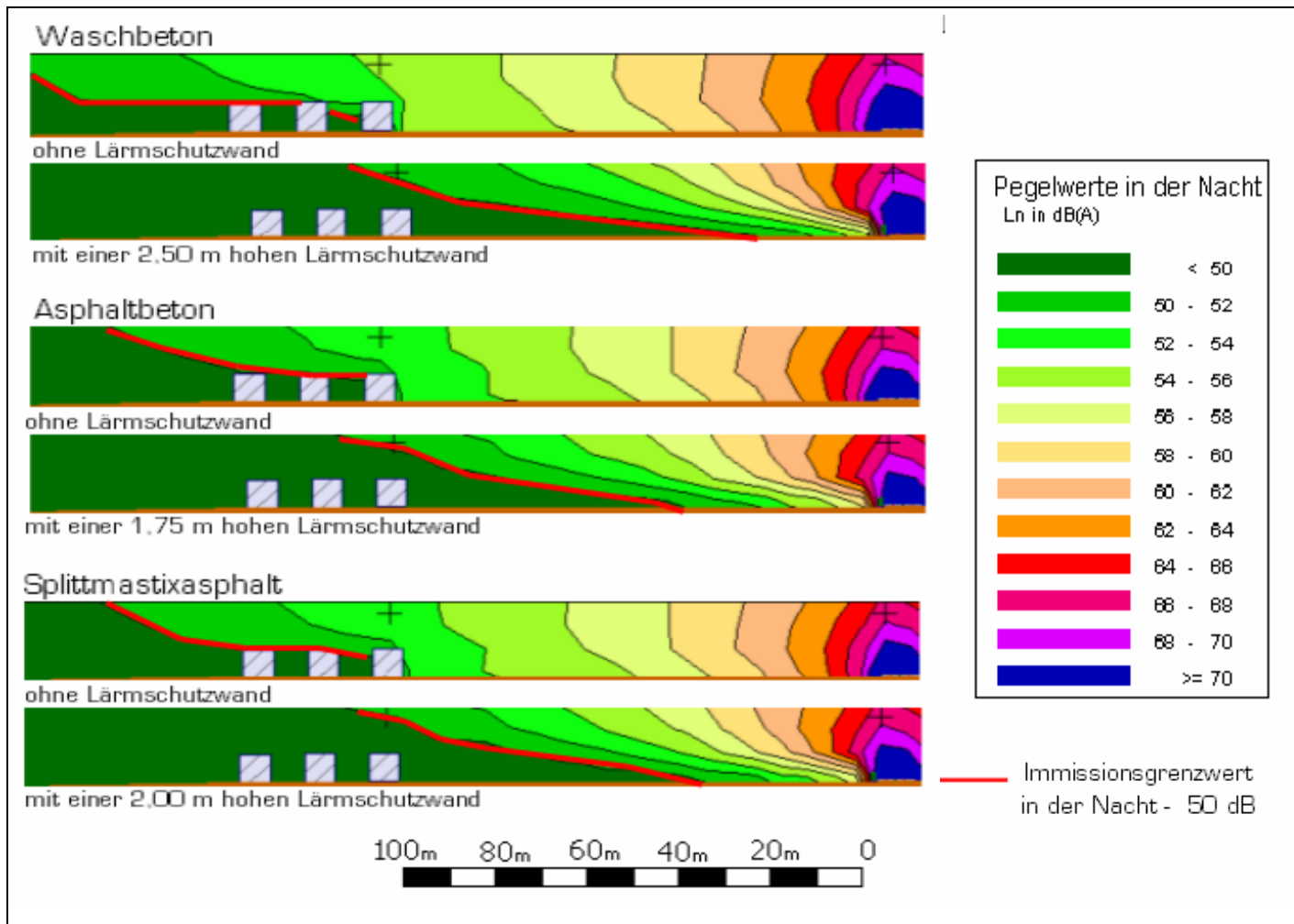


Abbildung 79: Schnittlärnkarten der verschiedenen Fahrbahndeckschichten für die Lärmbelastung in der Nacht mit dem zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand

6.8 Analyse der Immissionsorte in der Siedlung mit einer optimierten Lärmschutzwand

Die Abbildungen 80, 81 und 82 stellen die ermittelten Pegelwerte der ausgewählten Immissionsorte jeweils für eine Waschbetondeckschicht und eine Lärmschutzwand mit 2,50 m Höhe, für eine Asphaltbetondeckschicht und eine Lärmschutzwand mit 1,75 m Höhe und für eine Splittmastixasphaltdeckschicht und eine Lärmschutzwand mit 2,00 m Höhe dar.

Aus den vorhandenen Abbildungen ist zu entnehmen, dass sich die erhaltenen Pegelwerte für die entsprechenden Immissionsorte der drei unterschiedlichen Fälle fast mit gleichen Werten auszeichnen. Somit beträgt der größte Pegelwert für die Lärmbelastung während des Tages 57 dB(A) im Haus 4 (2. Stock). Ein kleiner Unterschied kann in den Pegelwerten für den Beurteilungszeitraum Nacht beobachtet werden. Während der größte Pegelwert im Fall einer Waschbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit 2,50 m Höhe beinahe 49 dB(A) beträgt, neigen sich die maximalen Pegelwerte der anderen zwei Fälle zu 48 dB(A).

Wenn ein Vergleich zwischen den Pegelwerten der Immissionsorte für die Deckschichttypen Waschbeton, Asphaltbeton und Splittmastixasphalt für die Fälle ohne und mit dem Einsatz einer Lärmschutzwand gezogen wird, werden die folgenden Ergebnisse für das Haus 4 im 2. Stock erhalten:

- die 2,50 m hohe Wand im Fall der Waschbetondeckschicht führt zu einer Lärminderung von 5,2 dB(A).
- die 1,75 m hohe Lärmschutzwand im Fall der Asphaltbetondeckschicht weist ein Lärminderungspotenzial von 4,3 dB(A) auf.
- die 2,00 m hohe Lärmschutzwand im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht führt zu einer Lärmreduktion von 4,8 dB(A).

Es zeigt sich somit, dass einerseits der Waschbeton und die 2,50 m hohe Lärmschutzwand und andererseits der Splittmastixasphalt und die 2,00 m hohe Lärmschutzwand ein sehr ähnliches Lärminderungspotenzial von ca. 5 dB(A) erreichen. Die Kombination Asphaltbetondeckschicht und einer 1,75 m hohen Lärmschutzwand weist ein um 1 dB(A) geringeres Lärminderungspotenzial auf als die anderen beiden Fälle.

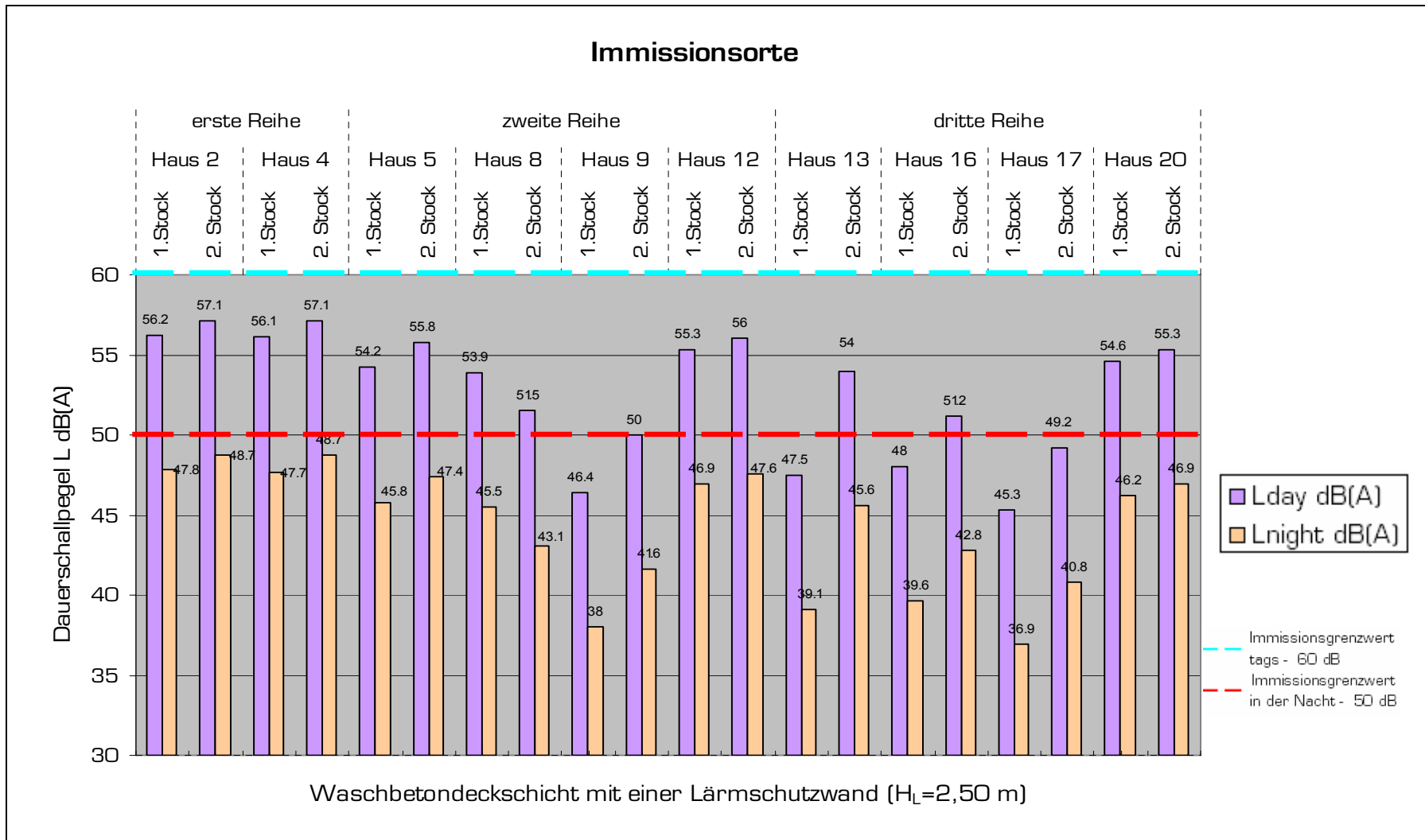


Abbildung 80: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Waschbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=2,50$ m

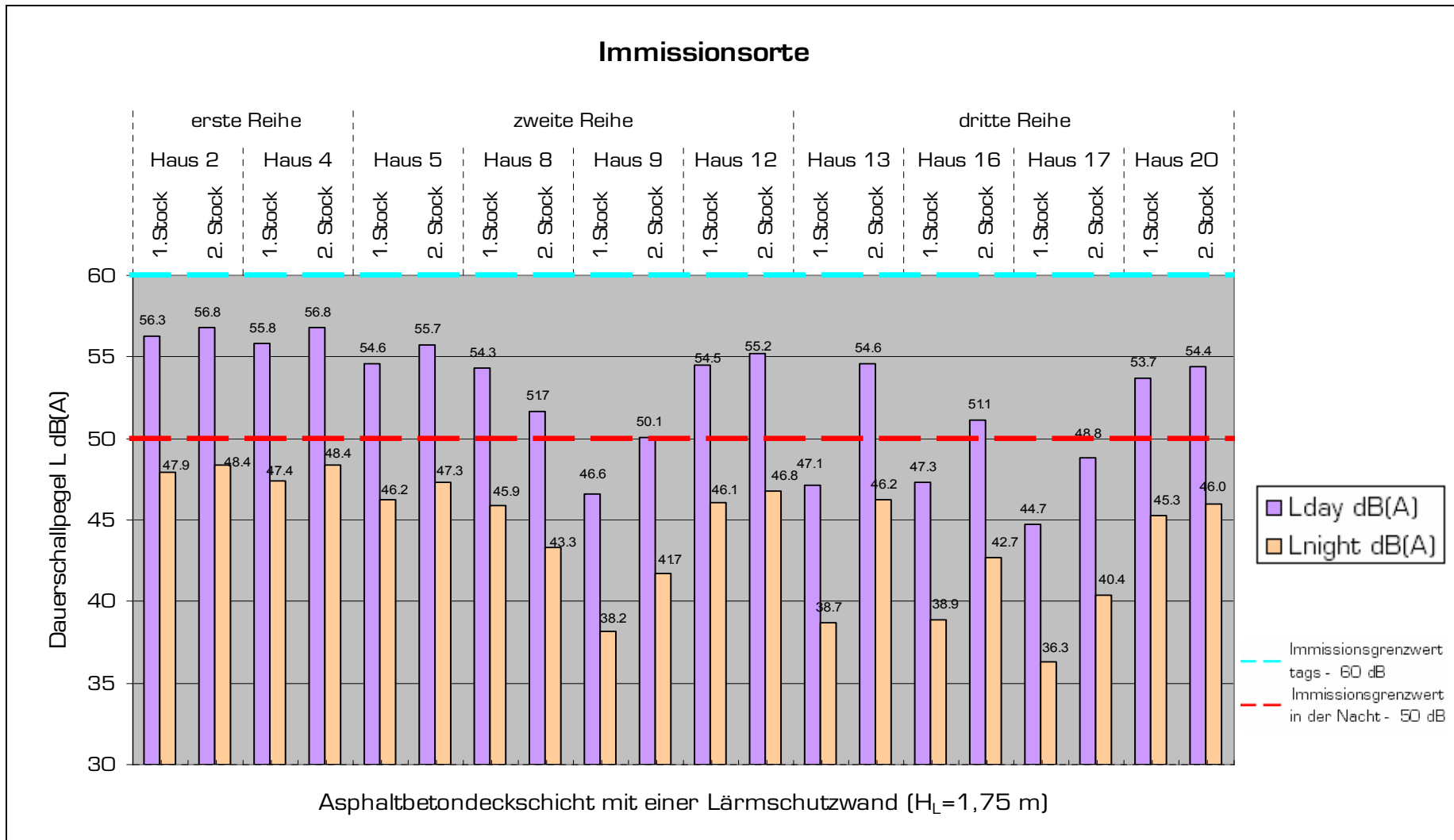


Abbildung 81: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Asphaltbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=1,75$ m

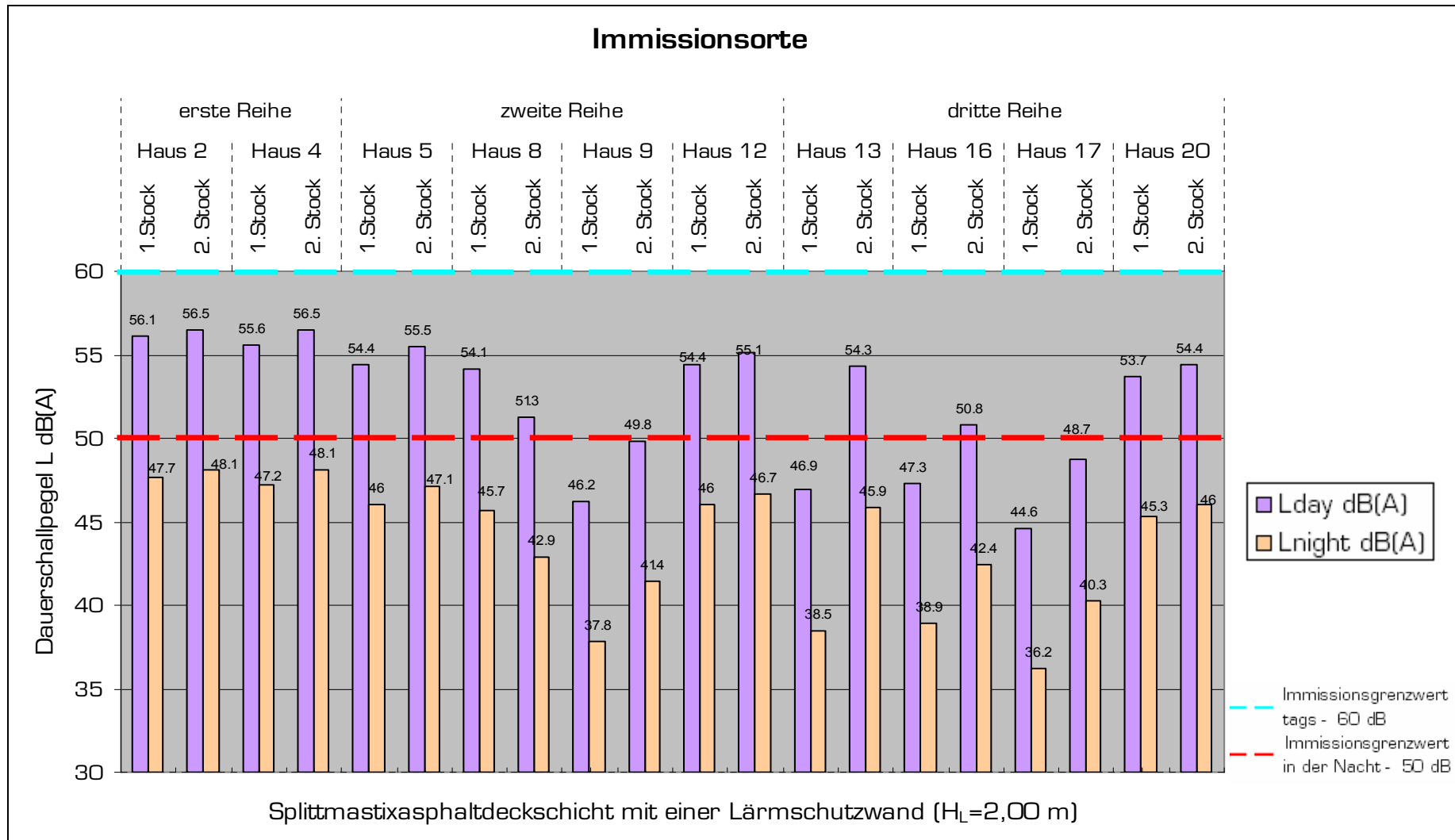


Abbildung 82: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht und einer Lärmschutzwand mit H_L=2,00 m

7. LÄRMSCHUTZMASSNAHMEN - GROBE KOSTENABSCHÄTZUNG

In diesem Kapitel wird versucht, aufgrund der ermittelten Ergebnisse für das untersuchte Geländemodell, eine grobe Kostenabschätzung der verschiedenen Arten von bautechnischen Maßnahmen zur Verminderung des Verkehrslärms zu erhalten. In diesem Zusammenhang wurden die Splittmastixasphalt- und die Drainasphaltdeckschicht für einen Vergleich ausgewählt. Aus der Auswertung der Ergebnisse für die Verbreitung der Lärmimmissionen hat sich ergeben, dass der SMA einen zusätzlichen Einsatz einer 2,00 m hohen Lärmschutzwand benötigt, um die Einwohner der Siedlung gegen den Verkehrslärm ausreichend zu schützen. Im Gegensatz dazu weist der DA ein ausreichendes Lärminderungspotenzial auf und gewährleistet ohne zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen einen genügenden Lärmschutz für die untersuchte Siedlung. Es wird ein Vergleich der Kostenabschätzung der Einbau- und Erneuerungskosten zwischen einem lärm mindernden Deckschichttyp (Drainasphalt) und einem Asphaltdeckschichttyp (Splittmastixasphalt) mit dem zusätzlichen Einsatz einer 2,00 m hohen geraden Lärmschutzwand durchgeführt.

Die Kostenabschätzung wurde für einen Beurteilungszeitraum für 30 Jahre unternommen. Es muss im Betracht gezogen werden, dass hier nur eine grobe Kostenabschätzung durchgeführt wurde, ohne die Analyse der unterschiedlichen Instandhaltungskosten für die beiden Deckschichten und ohne Diskontierung der zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Erneuerungskosten. Die Lebensdauer einer Splittmastixasphaltdeckschicht charakterisiert sich mit einer Zeitperiode von 15 Jahren, das bedeutet, dass während dem entsprechenden Beurteilungszeitraum der SMA einmal erneuert werden muss. Die Lebensdauer einer Drainasphaltdeckschicht wird mit 10 Jahren angenommen, folglich muss die Drainasphaltdeckschicht im Beurteilungszeitraum zweimal erneuert werden.

7.1 Parameter des untersuchten Straßenabschnitts und der entsprechenden Lärmschutzwand

Für die durchgeführte Untersuchung wurde nur der Abschnitt der Straße, wo sich die Lärmschutzwand befindet, betrachtet. Die Länge der Lärmschutzwand ist 275 m, ihre Höhe beträgt 2,00 m, die Breite der Straße ist 10,50 m. Die untersuchten Straßen- und Lärmschutzwandflächen erhalten sich somit

- Straßenabschnittfläche $275,00 \text{ m} \times 10,50 \text{ m} = 2887,50 \text{ m}^2$
- Lärmschutzwandfläche $275,00 \text{ m} \times 2,00 \text{ m} = 550,00 \text{ m}^2$

7.2 Einbau- und Erneuerungskosten

Die verwendeten Preisangaben sind Einbaukosten, die aus Mittelwerten aus den Publikationen

- Kosten – Zusammenfassender Vergleich. 3. Informationstage Geräuschmindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis [39]
- RVS 03.08.71[40]
- Ökonomische Bewertung der lärmindernde Wirkung offenporiger Asphaltdeckschichten [41]
- Teststrecke B1 Wiener Straße [42]

resultieren und haben die folgenden Werte:

- DA 3,00 EUR/m²
- SMA 1,60 EUR/m²

Sie sind für eine Deckschichtdicke von 1 cm heranzuziehen. Die untersuchten Deckschichttypen in Rahmen dieser Arbeit sind mit einer Deckschichtdicke von 3,50 cm angenommen. Die Einbaukosten für die verschiedenen Deckschichttypen werden dann die Werte

- DA 10,50 EUR/m²
- SMA 5,60 EUR/m²

betragen.

Die Einbaukosten für die ausgewählte Lärmschutzwand sind aus der Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen [43] entnommen worden und betragen 250 EUR/m². Die Lebensdauer wird mit 30 Jahren angenommen.

Die Kosten für Fräsen sind aus dem Handbuch VIAPMS_AUSTRIA Version 2004 [44] entnommen worden und betragen 4 EUR/m² für eine herkömmliche Asphaltbetondeckschicht mit 4 cm Deckschichtdicke. Die Erneuerungskosten sind aus den Kosten für das Fräsen und für das Aufbringen einer neuen Deckschicht zusammengefasst. Sie erhalten sich somit für die betrachteten Deckschichttypen für 1 cm Deckschichtdicke

- DA 4,00 EUR/m²
- SMA 2,60 EUR/m²

und entsprechend für 3,50 cm Deckschichtdicke

- DA 14,00 EUR/m²
- SMA 9,10 EUR/m²

7.3 Darstellung der ermittelten Ergebnisse

Die Abbildung 83 stellt die Einbaukosten der Splittmastixasphalt- und der Drainasphaltdeckschicht für den betrachteten Straßenabschnitt, sowie die Einbaukosten der ausgewählten Lärmschutzwand, dar. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass die Einbaukosten der Drainasphaltdeckschicht beinahe doppelt so hoch sind wie die der Splittmastixasphaltdeckschicht. Der größte Kostenaufwand aber entsteht für die Errichtung der Lärmschutzwand. Die Einbaukosten der Lärmschutzwand sind 4,5-mal größer als die des Drainasphalts und 8,5-mal größer als die des Splittmastixasphalts.

Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass im Fall einer lärmindernden Deckschicht, nämlich Drainasphalt, die Anfangsbaukosten für den untersuchten Straßenabschnitt 30.319 EUR betragen und im Fall eines Splittmastixasphalts mit dem zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand sind die Einbaukosten insgesamt 137.670 EUR. Mit einem Unterschied von mehr als 120.000 EUR für die Einbaukosten, ergibt sich die Lärmschutzmaßnahme mit einer lärmindernden Deckschicht (Drainasphalt) zunächst jedenfalls günstiger als im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht mit einer Lärmschutzeinrichtung.

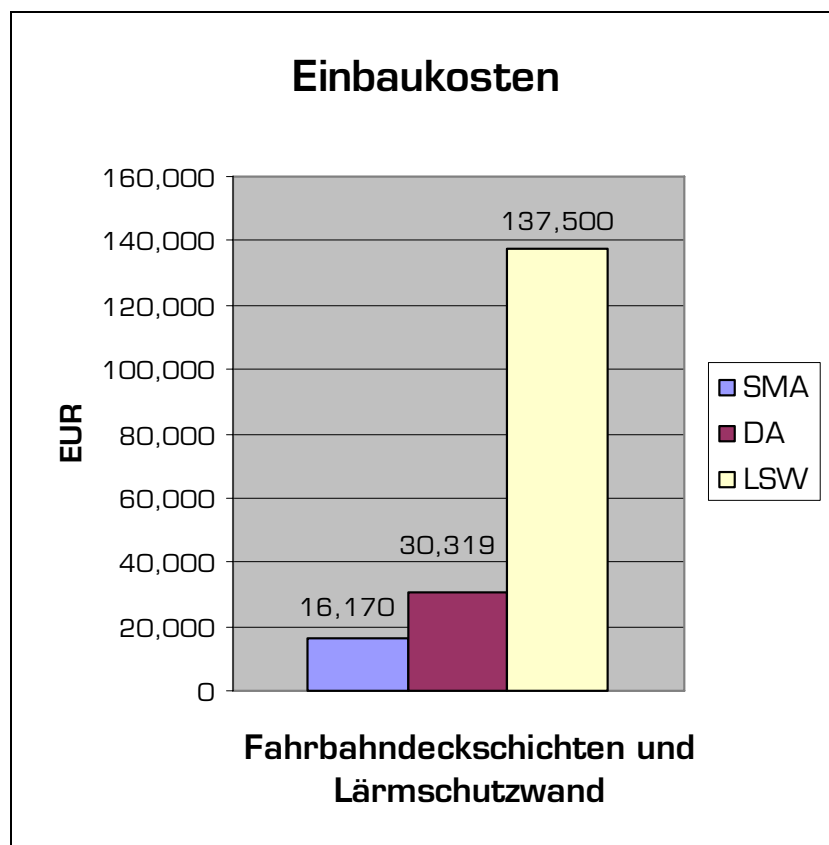


Abbildung 83: Darstellung der Einbaukosten für die untersuchten Deckschichttypen und die entsprechende Lärmschutzwand

Abbildung 84 stellt eine grobe Kostenabschätzung im Fall einer Drainasphaltdeckschicht und im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht mit dem zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand für die Beurteilungsperiode von 30 Jahren dar. Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass, obwohl der SMA während des untersuchten Zeitraums nur eine Erneuerungsmaßnahme benötigt, im Gegensatz zum DA, der im Rahmen der Beurteilungszeit zweimal erneuert werden muss, die Einbau- und Erneuerungskosten für den Fall SMA und den zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand höhere Preiswerte als die Drainasphaltdeckschicht aufweisen. Für die Beurteilungsperiode von 30 Jahren ist ein Preisunterschied von mehr als 68.000 EUR ermittelt worden.

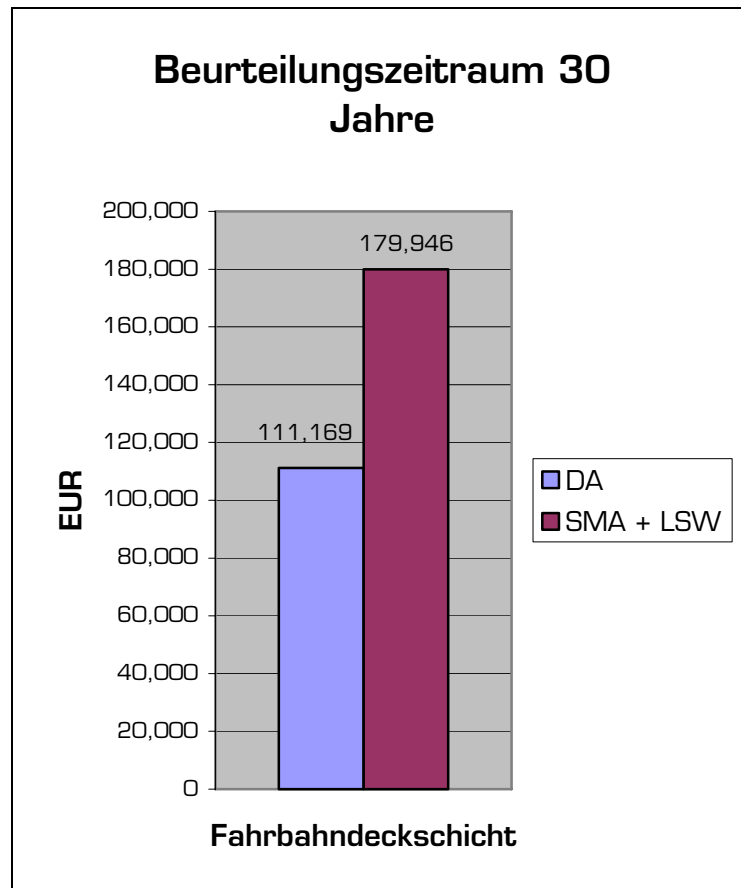


Abbildung 84: Darstellung der groben Kostenabschätzung für die verschiedenen Fälle der bautechnischen Lärminderungsmaßnahmen und für den Beurteilungszeitraum von 30 Jahren

Daraus lässt sich schließen, dass der Einbau und die mehrmalige Erneuerung einer Drainasphaltdeckschicht für einen Beurteilungszeitraum von 30 Jahren wirtschaftlicher sind als der Einbau und die Erneuerung einer Splittmastixasphaltdeckschicht zusammen mit der Errichtung einer Lärmschutzwand.

Allerdings ist nochmals festzuhalten, dass der durchgeführte Kostenvergleich nur eine grobe Kostenabschätzung darstellt, die die Instandhaltungskosten und die Diskontierung nicht einbezieht.

8. ZUSAMMENFASSUNG

In Rahmen dieser Arbeit sind zwei Methoden zur Erfassung der Lärmemissionen und -immissionen im Detail erklärt worden. Die erste Methode (die Rollgeräuschmessung) beschäftigt sich mit einer Aufnahme der Schallemissionen direkt an der Quelle und die zweite (die Vorbeifahrtmessung) mit Schallmessungen in einem bestimmten Abstand und einer bestimmten Höhe zur Straße (Aufnahme der Schallimmissionen).

Außerdem sind die verschiedenen Arten von Lärmschutzmaßnahmen zusammen mit ihren Wirkungsweisen genauer beschrieben worden. Sie bestehen vorwiegend aus zwei Hauptgruppen, die erste ist mit einer Emissionsreduktion direkt am Entstehungsort verbunden (grundsätzlich die lärmindernden Fahrbahndeckschichten) und die zweite beschäftigt sich mit einer Immissionsreduktion (Lärmschutzeinrichtungen).

Weiters wurde ein bestimmtes Geländemodell ausgewählt, das als Grundlage der durchgeführten Untersuchungen zur Schallausbreitung diene. Hauptobjekte des untersuchten Geländemodells sind ein Abschnitt einer Straße mit überwiegend regionalem Verkehr und eine Siedlung, die 100 m von der Straße entfernt ist. Die durchgeführten Untersuchungen basieren auf der Ermittlung des möglichen Lärminderungspotenziales von fünf unterschiedlichen Deckschichttypen (Waschbeton, Asphaltbeton, Splittmastixasphalt, lärmindernder Splittmastixasphalt und Drainasphalt).

Die fünf untersuchten Fahrbahndeckschichten haben ein unterschiedliches Lärminderungspotenzial gegenüber dem ausgewählten Siedlungsgebiet aufgewiesen. Die Waschbeton-, die Asphaltbeton- und die Splittmastixasphaltdeckschichten haben als bautechnische Maßnahme keinen ausreichenden Lärmschutz für die Einwohner des untersuchten Wohngebiets gewährleistet. Im Gegensatz dazu haben die Deckschichttypen lärmindernder Splittmastixasphalt und Drainasphalt deutlich bessere Lärminderungseigenschaften gezeigt und somit die Siedlung auch gegen den Verkehrslärm ausreichend geschützt.

Aus der Analyse der Immissionsorte in der Siedlung hat sich ergeben, dass die Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte für den Beurteilungszeitraum Nacht größer sind als im Beurteilungszeitraum Tag. Somit kann die Lärmbelastung in der Nacht größer als die am Tag angesehen werden (obwohl das in Absolutwerten nicht gilt). Aus der Analyse ist weiter zu entnehmen, dass der Drainasphalt als Vertreter der offenporigen lärmindernden Deckschichttypen gegenüber dem Waschbeton ein Lärminderungspotenzial bis zu 5 dB(A) und ca. 4 dB(A) gegenüber dem Asphaltbeton aufgewiesen hat. Der Asphaltbeton und der Splittmastixasphalt haben ein ähnliches Lärminderungspotenzial von etwa 1 dB(A) in Bezug auf den Waschbeton aufgewiesen. Der lärmindernde Splittmastixasphalt zeigte die zweitbesten Lärminderungseigenschaften und sein Lärminderungspotenzial reichte bis zu 4 dB(A) gegenüber dem Waschbeton und ca. 3 dB(A) gegenüber dem Asphaltbeton.

In Rahmen dieser Arbeit wurden für den Waschbeton, den Asphaltbeton und den Splittmastixasphalt, die im untersuchten Wohngebiet die Immissionsgrenzwerte nicht einhalten konnten, zusätzliche Modellberechnungen mit dem Einsatz einer Lärmschutzwand durchgeführt. Die Modellberechnungen basierten auf einer

Wandhöhenoptimierung. Es hat sich ergeben, dass der Waschbeton eine 2,50 m, der Asphaltbeton eine 1,75 m und der Splittmastixasphalt eine 2,00 m hohe Lärmschutzwand benötigt, um dem untersuchten Wohngebiet einen genügenden Lärmschutz zu gewährleisten. Aus der Analyse der Immissionsorte mit dem zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand hat sich ebenso ergeben, dass die 2,50 m hohe Wand im Fall der Waschbetondeckschicht zu einer Lärminderung von 5,2 dB(A) beigetragen hat. Die 1,75 m hohe Lärmschutzwand im Fall der Asphaltbetondeckschicht hat ein Lärminderungspotenzial von 4,3 dB(A) aufgewiesen und die 2,00 m hohe Lärmschutzwand im Fall des Splittmastixasphalts führte zu einer Lärmreduktion von 4,8 dB(A).

Schließlich wurde ein grober Kostenvergleich der Einbau- und Erneuerungskosten zwischen einem lärmindernden Deckschichttyp (Drainasphalt) und einem Asphaltdeckschichttyp (Splittmastixasphalt) mit dem zusätzlichen Einsatz einer 2,00 m hohen geraden Lärmschutzwand für den Beurteilungszeitraum von 30 Jahren durchgeführt. Aus der Analyse hat sich ergeben, dass sowohl am Anfang der untersuchten Periode, wo nur die Einbaukosten einbezogen wurden, als auch am Ende des Beurteilungszeitraums, wo die Erneuerungskosten ebenso in die Analyse aufgenommen wurden, der Drainasphalt als aktive Lärmschutzmaßnahme wirtschaftlicher als der Splittmastixasphalt mit einer 2,00 m hohen Lärmschutzwand angesehen werden kann.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Frequenzspektrum eines Tones und eines Geräusches [1]..... | 9 |
| Abbildung 2: Bewertungskurven für Schallpegelmesser [4] | 10 |
| Abbildung 3: Hörbereich des Menschen [2] | 11 |
| Abbildung 4: charakteristische Pegelwerte verschiedener Geräuschquellen (nach [2]) | 13 |
| Abbildung 5: Lärmstörungen am Tag und/oder in der Nacht [] | 13 |
| Abbildung 6: Lärmstörung am Tag und/oder in der Nacht nach Lärmquellen [6] | 14 |
| Abbildung 7: Teilschallquellen eines Fahrzeuges bei der Vorbeifahrt (nach [7]) | 15 |
| Abbildung 8: EU-Schallgrenzwerte für verschiedene Fahrzeugkategorien [9]..... | 16 |
| Abbildung 9: Darstellung eines Oberflächenprofils [9] | 17 |
| Abbildung 10: Darstellung von Mega-, Makro- und Mikrotextrur [9]..... | 18 |
| Abbildung 11: Prinzipskizze der unterschiedlichen Texturformen [9] | 18 |
| Abbildung 12: Schallabsorbierende Auskleidung des Anhängers zur Rollgeräuschmessung [17] | 20 |
| Abbildung 13: Prinzipskizze des Rollgeräuschmessanhängers [18] | 20 |
| Abbildung 14: Messreifen des Lärmmessanhängers (Foto IFS Ziviltechniker GmbH [19]) | 21 |
| Abbildung 15: Rollgeräuschmessanhänger von IFS Ziviltechniker GmbH [19] | 24 |
| Abbildung 16: Prinzipdarstellung der Mikrofonpositionen beim CPX – Verfahren [19]..... | 24 |
| Abbildung 17: Gemäß ISO/CD 11819-2 verwendete Testreifen von IFS Ziviltechniker GmbH [19]..... | 25 |
| Abbildung 18: SPB-Messanordnung [19] | 27 |
| Abbildung 19: Einfluss von Reifen-Fahrbahngeräusch und Motorgeräusch auf das gesamte Geräuschereignis [8] | 31 |
| Abbildung 20: Einfluss von verschiedenen Reifen-Fahrzeugkombinationen auf das Gesamtvorbeifahrt ereignis auf 6 verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen [21] | 32 |
| Abbildung 21: Lärminderungspotenzial alternativer Antriebssysteme [8] | 32 |
| Abbildung 22: Air-pumping Effekt (links); Schallabstrahlung (mitte); mechanische Schwingungen des Reifens (rechts) [9] | 33 |
| Abbildung 23: konkave Textur („Plateaus mit Schluchten“) [9] | 34 |
| Abbildung 24: Texturoptimierte dichte Deckschichttypen: EP-GRIP (oberflächenbehandelte Betondecke), Waschbeton und Splittmastixasphalt [9] | 34 |
| Abbildung 25: Offenporiger Deckschichttyp- DA 11 [22]..... | 35 |
| Abbildung 26: Beispiel eines Längsglätters [23] | 35 |
| Abbildung 27: Beispiel für Oberflächenstrukturierung von Betondecken (Längsbesenstrich) [22] | 36 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 28: Beispiel für eine Waschbetondecke [23]..... | 36 |
| Abbildung 29: Beispiel für eine lärmindernde Dünnschichtdecke [22]..... | 37 |
| Abbildung 30: Vergleich der Grenzsieblinien von AC11 und PA11 (Porous asphalt= Drainasphalt) [9]..... | 38 |
| Abbildung 31: Aufbauarten von Drainasphalt (OPA = offenporiger Asphalt) [26]..... | 38 |
| Abbildung 32: Beispiele für Drainasphalte [26]..... | 39 |
| Abbildung 33: Geräuschkindernde Wirkungsweise der Drainasphaltdeckschichten [26]..... | 39 |
| Abbildung 34: Schema des Splittmastixgerüsts [28]..... | 40 |
| Abbildung 35: Beispiele für Splittmastixasphalte [28]..... | 40 |
| Abbildung 36: Beispiel für einen LSMA 8 [19]..... | 41 |
| Abbildung 37: Schallausbreitung und -beugung über eine Lärmschutzwand [7]..... | 42 |
| Abbildung 38: Arten von Lärmschutzeinrichtungen [32]..... | 43 |
| Abbildung 39: Schallabstrahlung in Hanglage [32]..... | 43 |
| Abbildung 40: Beispiele für Lärmschutzwände aus Holz [32]..... | 44 |
| Abbildung 41: Beispiele für Lärmschutzwände aus Beton [32]..... | 44 |
| Abbildung 42: Beispiele für Lärmschutzwände aus Aluminium [32]..... | 45 |
| Abbildung 43: Lärmschutzwände mit gefüllten Körben [32]..... | 45 |
| Abbildung 44: Lärmschutzwand aus Recyclingkunststoff [32]..... | 45 |
| Abbildung 45: Lärmschutzwände aus transparenten Kunststoffen [32]..... | 46 |
| Abbildung 46: Vergleich der Schallpegelminderung einer geraden mit einer gekrümmten Wand [7]..... | 46 |
| Abbildung 47: Modell und Foto einer gekrümmten Lärmschutzwand [32],[33]..... | 47 |
| Abbildung 48: Beispiel für eine geknickte Lärmschutzwand–A23 Südosttangente Wien [32]..... | 47 |
| Abbildung 49: Das Aufsatzelement „Octagon“ an der A10 [32]..... | 48 |
| Abbildung 50: Lärmschutzwand mit Bepflanzung [34]..... | 48 |
| Abbildung 51: Höhe eines Lärmschutzwalles im Vergleich zu einer wirkungsgleichen Lärmschutzwand [34]..... | 48 |
| Abbildung 52: Einfluss der Einhausungslänge in Bezug zur Schallpegelausbreitung [32]..... | 49 |
| Abbildung 53: Zusammenhang Außen- und Innenpegel unter Berücksichtigung verschiedener Fenster und Fensterlagen [32]..... | 50 |
| Abbildung 54: Lageplan des untersuchten Geländemodells..... | 51 |
| Abbildung 55: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung [29]..... | 57 |
| Abbildung 56: Schema der ausgewählten Immissionsorte..... | 60 |
| Abbildung 57: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Waschbetondeckschicht (Beurteilungszeitraum Tag)..... | 63 |
| Abbildung 58: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Asphaltbetondeckschicht (Beurteilungszeitraum Tag)..... | 64 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 59: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Splittmastixasphaltdeckschicht (Beurteilungszeitraum Tag) | 65 |
| Abbildung 60: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer lärm mindernden Splittmastixasphaltdeckschicht (Beurteilungszeitraum Tag) | 66 |
| Abbildung 61: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Drainasphaltdeckschicht (Beurteilungszeitraum Tag) | 67 |
| Abbildung 62: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Waschbetondeckschicht (Beurteilungszeitraum Nacht) | 69 |
| Abbildung 63: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Asphaltbetondeckschicht (Beurteilungszeitraum Nacht) | 70 |
| Abbildung 64: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Splittmastixasphaltdeckschicht (Beurteilungszeitraum Nacht) | 71 |
| Abbildung 65: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer lärm mindernden Splittmastixasphaltdeckschicht (Beurteilungszeitraum Nacht) | 72 |
| Abbildung 66: Rasterlärmkarte des untersuchten Geländemodells mit einer Drainasphaltdeckschicht (Beurteilungszeitraum Nacht) | 73 |
| Abbildung 67: Schnittlärmkarten der verschiedenen Fahrbahndeckschichten für den Beurteilungszeitraum Tag | 75 |
| Abbildung 68: Schnittlärmkarten der verschiedenen Fahrbahndeckschichten für den Beurteilungszeitraum Nacht | 76 |
| Abbildung 69: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Waschbetondeckschicht | 78 |
| Abbildung 70: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Asphaltbetondeckschicht | 79 |
| Abbildung 71: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht | 80 |
| Abbildung 72: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer lärm mindernden Splittmastixasphaltdeckschicht | 81 |
| Abbildung 73: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Drainasphaltdeckschicht | 82 |
| Abbildung 74: Lageplan des untersuchten Geländemodells mit einer 275 m langen Lärmschutzwand | 83 |
| Abbildung 75: Rasterlärmkarten des untersuchten Geländemodells für die verschiedenen Beurteilungszeiträume mit einer Waschbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=2,50$ m | 85 |
| Abbildung 76: Rasterlärmkarten des untersuchten Geländemodells für die verschiedenen Beurteilungszeiträume mit einer Asphaltbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=1,75$ m | 86 |
| Abbildung 77: Rasterlärmkarten des untersuchten Geländemodells für die verschiedenen Beurteilungszeiträume mit einer Splittmastixasphaltdeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=2,00$ m | 87 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 78: Schnittlärmkarten der verschiedenen Fahrbahndeckschichten für die Lärmbelastung während des Tages mit dem zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand..... | 89 |
| Abbildung 79: Schnittlärmkarten der verschiedenen Fahrbahndeckschichten für die Lärmbelastung in der Nacht mit dem zusätzlichen Einsatz einer Lärmschutzwand..... | 90 |
| Abbildung 80: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Waschbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=2,50$ m | 92 |
| Abbildung 81: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Asphaltbetondeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=1,75$ m | 93 |
| Abbildung 82: Dauerschallpegel der Immissionsorte für die verschiedenen Beurteilungszeiträume im Fall einer Splittmastixasphaltdeckschicht und einer Lärmschutzwand mit $H_L=2,00$ m | 94 |
| Abbildung 83: Darstellung der Einbaukosten für die untersuchten Deckschichttypen und die entsprechende Lärmschutzwand..... | 97 |
| Abbildung 84: Darstellung der groben Kostenabschätzung für die verschiedenen Fälle der bautechnischen Lärminderungsmaßnahmen und für den Beurteilungszeitraum von 30 Jahren | 98 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Korrekturfaktor η gemäß RVS 11.06.64 [14] | 23 |
| Tabelle 2: Korrekturfaktor ε gemäß RVS 11.06.64 [14]..... | 23 |
| Tabelle 3: Referenzgeschwindigkeiten und zugehörige Bewertungsfaktoren W_x [20]..... | 28 |
| Tabelle 4: Bemessungsfaktoren für Verkehrslärberechnungen [29]..... | 53 |
| Tabelle 5: Richtwerte für den Schwerverkehrsanteil für Verkehrslärberechnungen [29] | 54 |
| Tabelle 6: Richtwerte für den Anteil leichter und schwerer LKW am Schwerverkehr für Verkehrslärberechnungen [29] | 54 |
| Tabelle 7: Basiswerte für die Fahrzeugemission [37]..... | 55 |
| Tabelle 8: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit [37]..... | 56 |
| Tabelle 9: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei PKW [29] | 56 |
| Tabelle 10: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei LKW [29]..... | 56 |
| Tabelle 11: auf 0 dB normiertes Spektrum für Verkehrslärm (A-bewertet) | 58 |
| Tabelle 12: JDTV- Werte der PKW- und LKW- Anteile in Kfz/24h bzw. LKW/24h | 58 |
| Tabelle 13: Maßgebende stündliche Verkehrsstärke für den untersuchten Straßenabschnitt in Kfz/h bzw. LKW/h..... | 59 |
| Tabelle 14: Berechneter Emissionsschallpegel (Beurteilungszeitraum 6 bis 22 Uhr) für den untersuchten Straßenabschnitt und für die verschiedenen Fahrbahndeckschichten..... | 59 |
| Tabelle 15: Berechneter Emissionsschallpegel (Beurteilungszeitraum 22 bis 6 Uhr) für den untersuchten Straßenabschnitt und für die verschiedenen Fahrbahndeckschichten..... | 59 |

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] <http://www.uni-essen.de/ibpm/BauPhy/Schall>
- [2] http://www.ohrenspitzer.de/fileadmin/media/Ohrenspitzer/BW/5-Service_Download/AnleitungenTipps/arbeitsmaterial_schallpegelmessung.pdf
- [3] ÖAL (Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung): Psychoakustik - Gehörbezogene Lärmbewertung. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien, 1994
- [4] http://www.bph.hbt.ethz.ch/Filep/Schall/Schall_Grundl/Kennwerte/Bewertungskurven.html
- [5] http://www.staedtebauliche-laermfibel.de/kap_2/kap_2-4-3.htm
- [6] Umweltbundesamt: Umweltsituation in Österreich. Achter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat, Wien, Juli 2006 (<http://www.umweltbundesamt.at>)
- [7] Haberl, J. und Litzka, J.: Europäische Projekte zur Reduzierung des Straßenverkehrslärms. Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK), Wien, August.2007
- [8] EU- Projekt SILVIA: Recommendations on Specifications for Tyre and Vehicle Requirements. Deliverable D07 des EU- Projektes SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control), GROWTH Project GRD2-2000-31801, Brüssel, 2004 (<http://www.trl.co.uk/silvia/>)
- [9] Litzka, J. und Haberl, J.: Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahn – Zielkonflikte und Optimierungsmöglichkeiten aus straßenbaulicher Sicht, 5. Symposium Reifen und Fahrwerk, ÖAMTC, Oktober 2007
- [10] Bekenbauer, T. und Spiegler, P.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen – Fahrbahn Geräusch. Forschungsbericht 3.293, Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 2001
- [11] DIN ISO 13472 - 1: Akustik – Messung der Schallabsorptionseigenschaften von Straßenoberflächen vor Ort – Teil 1: Freifeldverfahren (ISO 13472 - 1:2002). International Organisation for Standardization (ISO), Genf, 1997, Deutsche Fassung DIN ISO 13472 - 1:2004 – 04
- [12] RVS 11.06.61: Grundlagen - Prüfverfahren – Feldprüfungen - Teil 1: Drainverhalten mit dem Ausflussmessgerät. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße- Schiene- Verkehr, Wien, November 1995
- [13] RVS 11.06.66: Grundlagen - Prüfverfahren – Feldprüfungen - Teil 6: Lasertexturmessungen mit dem System RoadSTAR. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße- Schiene- Verkehr, Wien, November 2004

- [14] EN 13036-1: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens. Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 2001
- [15] RVS 11.06.64: Grundlagen - Prüfverfahren – Feldprüfungen - Teil 4: Rollgeräuschmessung. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße- Schiene-Verkehr, Wien, April 1997
- [16] 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 Standardisation (ISO), Genf, 2000
- [17] Haberl, J. und Litzka, J.: Bewertung der Nahfeld- Geräuschemission österreichischer Fahrbahndeckschichten. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 554, Wien, 2005
- [18] Haider, M.: Rollgeräuschmessungen – Optimierung von Verfahren und Grenzwerten. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 550, Wien, 2005
- [19] Haberl, J. und Litzka, J.: Versuchsstrecke lärmindernde Straßendecken A12. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Straßenforschung, Schlussbericht Projekt Nr. 3.316, Wien, 2007 (unveröffentlicht)
- [20] EN ISO 11819-1: Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsrgeräusche – Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren. International Organisation for Standardisation (ISO), Wien, 1997
- [21] 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, 1998
- [22] Pracherstorfer, W. und Litzka, J.: Österreichische Erfahrungen mit lärmindernden Straßendecken. Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 427, Wien 1994
- [23] 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, 2006 (<http://www.trl.co.uk/silvia/>)
- [24] RVS 08.17.02: Technische Vertragsbedingungen Betondecken – Deckenherstellung. Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse- Schiene-Verkehr (FSV), Wien, März 2007
- [25] RVS 08.97.05: Technische Vertragsbedingungen – Baustoffe – Anforderungen an Asphaltmischgut. Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse- Schiene-Verkehr, Wien, Jänner 2007

- [26] www.lfu.bayern.de/laerm/forschung_und_projekte/doc/2opa.pdf
- [27] GESTRATA: Asphalt Handbuch. GESTRATA – Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt, 3. Auflage, September 2003
- [28] www.asphalt.de/media/exe/134/f5cb99ba38867f5246cc61278e765781/sma-leitfaden2.pdf
- [29] RVS 04.02.11: Umweltschutz - Lärm und Luftschadstoffe – Lärmschutz. Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse- Schiene- Verkehr, Wien, Februar 2006
- [30] Rauscher, G. und Haider, M.: Lärmschutzelemente an Straßen – akustische Messungen vor Ort. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Straßenforschung Heft 547, Wien, 2005
- [31] BMVIT: Dienstanweisung für Lärmschutz an Bundesstraßen (Autobahnen und Schnellstraßen). Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Wien, November 2006
- [32] www.asfinag.at/index.php?module=Pagesetter&type=file&func=get&tid=214&fid=ddownload1&pid=37
- [33] Gruber, K., Nadler, F., Robl, J. und Talasch, W.: Entwicklung eines wirtschaftlichen Lärmschutzsystems. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Straßenforschung Heft 509, Wien, 2001
- [34] www.biw.fhd.edu/alumni/2001/grotz/laermeschutzwaele/allgemeines.htm
- [35] RVS 3.02:1997: „Umweltschutz – Lärmschutz,“ Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen, Wien, Dezember 1997.
- [36] ÖAL Richtlinie 29, Kriterien für lärmarme Lastkraftwagen und Omnibusse, ÖAL (Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung), Wien, Österreich, 1987
- [37] Jaksch M., Hoislbauer H., Kalivoda M., Strohmayer G. und Haberl, J.: Ermittlung von Geräuschemissionsfaktoren für unterschiedliche Fahrbahndeckschichten. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und ASFINAG, Endbericht, Wien, Jänner 2007
- [38] Braunstein + Berndt GmbH: Handbuch SoundPLAN – Software für Lärm- und Schadstoffprognosen. Version 6.04, Mai 2005
- [39] Weißenberger, W.: Kosten – Zusammenfassender Vergleich. 3. Informationstage Geräuschemindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis – Stand der Technik, Müller-BBM, Ingolstadt, April 2006
- [40] RVS 03.08.71: Entscheidungshilfen – Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau. Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse- Schiene- Verkehr, Wien, Mai 2001
- [41] Holldorb, Ch.: Ökonomische Bewertung der lärmindernden Wirkung offener Asphaltdeckschichten. Deutscher Asphaltverband, Karlsruhe, September 2003

- [42] Wießmayer, W.: Teststrecke B1 Wiener Straße. Abschlussbericht, Amt der OÖ Landesregierung – Landesbaudirektion, Abteilung Straßenerhaltung und – betrieb, Linz, Dezember 2006
- [43] Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2004. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 2004
- [44] Simanek P., Weninger – Vycudil A., Litzka J.: Handbuch VIAPMS_AUSTRIA, Version 2004. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der technischen Universität Wien, Mai 2004