

**TU**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

# **Effizienzvergleich von Lärmschutzmaßnahmen im Straßenbau unter Berücksichtigung der Lebens- zykluskosten**

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

o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Dr. h.c. Johann Litzka  
und Projektass. Dipl.-Ing. Jürgen Haberl,  
Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung,

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

Alexander Dismüller  
E 066 467/9825051  
1090 Wien, Garnisongasse 22/10

Wien, 16.März 2009

Unterschrift

---

# KURZFASSUNG

Alexander Oismüller: Effizienzvergleich von Lärmschutzmaßnahmen im Straßenbau unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten

In den letzten Jahren hat sich die Bekämpfung von Lärm – subjektiv als negativ beurteiltes Schallereignis – zu einer wichtigen Aufgabe im Infrastrukturbereich entwickelt. Dieses Streben nach einer Lärminderung im Nahbereich von Straßeninfrastruktureinrichtungen führt zur Entwicklung unterschiedlicher Lösungsansätze.

Zu Beginn dieser Arbeit erfolgt eine kurze, allgemeine Einführung in die Lärmthematik. Diese soll vor allem mit den gängigen Definitionen, Rechenregeln und Meßverfahren vertraut machen. In einem weiteren Kapitel werden Lärminderungsmaßnahmen behandelt, wobei am Anfang ein kurzer Einblick in die gesetzlichen Grundlagen gegeben wird. Danach werden die Möglichkeiten einer Emissionsreduktion vorgestellt, bevor schließlich unterschiedliche bautechnische Maßnahmen – mit dem Schwerpunkt Lärmschutzwände – dargelegt werden.

In Kapitel 4 dieser Arbeit wurde ein Geländemodell entwickelt, anhand dessen drei unterschiedliche Ausführungsvarianten der Fahrbahndeckschicht – Beton, Asphaltbeton und Drainasphalt – und deren Wirkung hinsichtlich der Schallausbreitung sowie die Einwirkung auf zwei Siedlungen – eine nördlich und eine südlich der Autobahntrasse – untersucht werden. Aufgrund der Ergebnisse der Berechnung mit dem Programm SoundPLAN 6.4 werden für jede Deckschichtvariante im Falle einer Immissionsgrenzwertüberschreitung optimierte Lärmschutzwände errechnet. Für diesen Fall erfolgt dann ein nochmaliger Berechnungsdurchlauf.

Schlussendlich erfolgt eine Abschätzung möglicher Lebenszykluskosten, die sowohl die einmalige Errichtung als auch die Erhaltung während der gesamten Lebensdauer beinhalten. Um eine Aussage über die wirtschaftlichste Gesamtvariante treffen zu können, werden die Lebenszykluskosten für einen Beurteilungszeitraum von 30 Jahren miteinander verglichen.

## SUMMARY

Alexander Dismüller: Comparison of the efficiency of noise-reducing measures on roads considering the life-cycle-costs.

Within the last few years the reduction of noise – which means subjectively negative feelings about an objective sonic-happening – became an important topic in infra-structural agendas. Therefore the search for possible noise-reduction nearby of infra-structural buildings urged many different solutions.

At the beginning of this work a short and general introduction into the topic of noise is placed. Its goal is to become familiar with the specific definitions, calculating operations and measuring methods. The following chapter deals with different noise-reducing measurement methods, with a short view on regulations and laws. Afterwards different possibilities of noise reducing measures are presented, especially different kinds of noise barriers and noise reducing pavements.

Chapter four describes the development of a digital terrain model, which is the basis for the analysis of the impact of emission and immission on two settlements by three different pavement materials, namely cement concrete, asphalt concrete and porous asphalt. The two residential areas are placed north and south of the highway. Due to calculations of the software SoundPLAN 6.4 one can define, if there are exceedances of the legal immission-limit-values. As a result of this exceedance the software optimizes noise barriers so, that these given immission-limits will be observed for all buildings within the two villages. If this is necessary, the overall system has to be calculated again.

Finally an estimation of probable life-cycle-costs takes place, which means that both the single construction costs and the lifetime maintenance costs are considered in the calculation. To be able find the most economical overall solution, an life-cycle-period of 30 years is estimated.

## VORWORT

Zu Beginn möchte ich den Herrn o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Dr. h.c. Johann Litzka und Projektass. Dipl.-Ing. Jürgen Haberl für deren Ausdauer, Verständnis, Entgegenkommen und Geduld in einer schwierigen Situation danken, wodurch erst das Zustandekommen und vor allem die Beendigung dieser Arbeit ermöglicht worden ist.

Meiner Familie möchte ich für die Ausdauer, die Opfer – zehn Jahre an der Universität sind doch eine lange Zeit – und die Unterstützung danken, die mir den nötigen Rückhalt für das Studium gegeben hat. Ohne meine Familie hätte ich wohl schon längst einen anderen Weg eingeschlagen.

Meiner Tante und meinem Onkel, die immer da gewesen sind, wenn ich Hilfe benötigt habe, möchte ich ebenso danken wie Franziska und Benedikt für deren langjährige familiäre Verbundenheit, Hilfe und Patenschaft. Petra und Klaus danke ich für deren Mühe, Dinge die da waren und sind, in einem neuen Licht erscheinen zu lassen.

Weiters möchte ich meinen langjährigen Freunden Christoph, Patrick, Igor und Helmut danken, die mich bereits seit meiner Schulzeit begleiten und unterstützen. Auch meinen im langjährigen Studium neu gewonnenen Freunden Tomml, Rosi, Fish, Jan, Susi, Peter und Jürgen sowie Andreas, Georg, Margot, Roman, Markus und Merv danke ich für ihre Unterstützung, Freundschaft und den gemeinsamen Anstrengungen während unserer gemeinsamen Zeit – bis heute.

Ich könnte wohl ewig fortfahren, Menschen die mich bewegt, gelehrt und beeinflusst haben anzuführen, Euch allen möchte ich danken – ohne Euch wäre ich nicht der, welcher ich heute bin.

Alexander Oismüller

Für meinen geliebten und viel zu früh aus  
unserer Mitte gerissenen Vater Helmut,  
Friede Deiner Seele.

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ASFINAG	...	Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft
BMVIT	...	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
ca	...	zirka
CPXI	...	Close Proximity Index
dB	...	Dezibel
$DL_{\alpha}$	...	Schallabsorptionsgrad einer Lärmschutzwand
$DL_R$	...	Luftschalldämmung
$\Delta L_a$	...	Luftabsorptionsmaß [dB]
$L_{A,eq,ges}$	...	energieäquivalenter Dauerschallpegel [dB(A)]
$\Delta L_b$	...	Bodendämpfungsmaß [dB]
$\Delta L_d$	...	Abstandsmaß [dB]
$\Delta L_s$	...	Schirmmaß [dB]
$\Delta L_{rx}$	...	Flächenreflexionsmaß [dB]
$\Delta L_v$	...	Vegetationsdämpfungsmaß [dB]
e	...	Messfahrt
EU	...	Europäische Union
$\Phi$	...	Winkel des betrachteten Sektors [°]
Hz	...	Hertz
i	...	Terzband
JDTV	...	Jährliche, durchschnittliche, tägliche Verkehrsstärke [Kfz/24h]
$k_L$	...	Bemessungsfaktor für Verkehrslärberechnungen
$K_{L,LKW}$	...	Kennwert für den Einfluss der Längsneigung, LKW
$K_{L,PKW}$	...	Kennwert für den Einfluss der Längsneigung, PKW
$K_M$	...	Korrekturwert (dB) bei Vorliegen einer Schallpegelmessung
$K_{V,LKWI,F}$	...	Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; leichte LKW
$K_{V,LKWI,lärmarm,F}$	...	Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; leichte, lärmarme LKW
$K_{V,LKWs,F}$	...	Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; schwere LKW
$K_{V,LKWs,lärmarm,F}$	...	Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; schwere, lärmarme LKW
$K_{V,PKW,F}$	...	Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; PKW
KDV	...	Kraftfahrgesetz- Durchführungsverordnung
km	...	Kilometer
km/h	...	Kilometer pro Stunde

$L$	... Länge
$L_1$	... Geräuschpegel der Fahrzeugkategorie 1 (PKW)
$L_{2a}$	... Geräuschpegel der Fahrzeugkategorie 2a (zweiachsige LKW)
$L_{2b}$	... Geräuschpegel der Fahrzeugkategorie 2b (mehrachsige LKW)
$L_A$	... A-bewerteter Schallpegel
$L_{A,1}$	... Mittlerer Spitzenpegel
$L_{A,95}$	... Basispegel
$L_{A,eq}$	... Energieäquivalenter Dauerschallpegel [dB(A)]
$L_{A,eq}^1$	... Emissionsschallpegel [dB(A)]
$L_{A,eq}^1$	... A- bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel in 1m Entfernung von der Emissionslinie [dB(A)]
$L_{A,eq}^B$	... A- bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel [dB(A)], als Ergebnis der Berechnung für das Analysejahr
$L_{A,eq}^M$	... A- bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel [dB(A)], als Ergebnis der Schallpegelmessung
$L_{A,max}$	... Maximalpegel [dB(A)]
$L_{A,min}$	... Minimalpegel [dB(A)]
$L_A$	... energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens A (Sommerreifen, PKW)
$L_B$	... energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens B (Sommerreifen, PKW)
$L_C$	... energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens C (Winterreifen, PKW)
$L_D$	... energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens D (LKW- Reifen)
$L_d$	... Lärmindex für den Beurteilungszeitraum Tag und Abend [dB]
$L_{day}$	... Taglärmindex
$L_{den}$	... Tag- Abend- Nacht- Lärmindex (den $\equiv$ day- evening- night)
$L_{eq,LKWl}$	... durch leichten Standard- LKW erzeugter Emissionsschallpegel
$L_{eq,LKWl,lärmarm}$	... durch leichten, lärmarmen LKW erzeugter Emissionsschallpegel
$L_{eq,LKW_s}$	... durch schweren Standard- LKW erzeugter Emissionsschallpegel
$L_{eq,LKW_s,lärmarm}$	... durch schweren, lärmarmen LKW erzeugter Emissionsschallpegel
$L_{eq,PKW}$	... durch PKW erzeugter Emissionsschallpegel
$L_{evening}$	... Abendlärmindex
$L_{LKWl,F}$	... Basiswert für die Fahrzeugemission; leichte LKW
$L_{LKWl,lärmarm,F}$	... Basiswert für die Fahrzeugemission; leichte, lärmarme LKW
$L_{LKW_s,F}$	... Basiswert für die Fahrzeugemission; schwere LKW
$L_{LKW_s,lärmarm,F}$	... Basiswert für die Fahrzeugemission; schwere, lärmarme LKW
$L_{min}$	... Mindestlänge für Übergangsbögen
$L_n$	... Lärmindex für den Beurteilungszeitraum Nacht [dB]

$L_{\text{night}}$	...	Nachtlärminde
$L_p$	...	Schalldruckpegel
$L_{p,\text{ges}}$	...	gesamter Schalldruckpegel
$L_{\text{PKW},F}$	...	Basiswert für die Fahrzeugemission; PKW
LGBL	...	Landesgesetzblatt
LKW	...	Lastkraftwagen
LMA	...	A- bewerteter Terzbandpegel einer Messfahrt
$LMA_{e,t,i}$	...	A- bewerteter Terzbandpegel eines Mikrophons bei einer Messfahrt
m	...	Meter
$M_{\text{LKW}}$	...	Anzahl der leichten Standard-LKW pro Stunde
$M_{\text{LKW},\text{lärmarm}}$	...	Anzahl der leichten, lärmarmen LKW pro Stunde
$M_{\text{LKW}s}$	...	Anzahl der schweren Standard-LKW pro Stunde
$M_{\text{LKW}s,\text{lärmarm}}$	...	Anzahl der schweren, lärmarmen LKW pro Stunde
$M_{\text{PKW}}$	...	Anzahl der PKW pro Stunde
$\mu\text{Pa}$	...	Millionstel Pascal
$MSV_L$	...	maßgebende stündliche Verkehrsstärke für Verkehrslärberechnungen [Kfz/h]
p	...	Effektivwert des Schallpegels
$p_0$	...	Bezugsschalldruck
$p_s$	...	Schwerverkehrsanteil
Pa	...	Pascal
PKW	...	Personenkraftwagen
q	...	Querneigung
$q_{\text{max}}$	...	maximale Querneigung
R	...	Radius
$R_{\text{Kmin}}$	...	Mindestkuppenradius
$R_{\text{min}}$	...	Mindestkreisbogenradius
$R_{\text{Wmin}}$	...	Mindestwannenradius
RVS	...	Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau
s	...	Längsneigung
$s_{\text{max}}$	...	maximale Längsneigung
SPB	...	Statistical Pass-By (statistische Vorbeifahrt)
SPBI	...	statistischer Vorbeifahrtsindex für eine Standardzusammensetzung aus PKW und LKW
t	...	Messfahrtmikrophon
TS	...	Tangentenschnittpunkt
$v_1$	...	Referenzgeschwindigkeit der Fahrzeugkategorie 1 (PKW)

$v_{2a}$	... Referenzgeschwindigkeit der Fahrzeugkategorie 2a (zweiachsige LKW)
$v_{2b}$	... Referenzgeschwindigkeit der Fahrzeugkategorie 2b (mehrachsige LKW)
$V_{LKW}$	... Geschwindigkeit LKW [km/h]
$V_P$	... Projektierungsgeschwindigkeit
$V_{PKW}$	... Geschwindigkeit PKW [km/h]
$W_1$	... Bewertungsfaktor, der den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorie 1 (PKW) am Verkehrsaufkommen je Geschwindigkeitsklasse entspricht
$W_{2a}$	... Bewertungsfaktor, der den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorie 2a (zweiachsige LKW) am Verkehrsaufkommen je Geschwindigkeitsklasse entspricht
$W_{2b}$	... Bewertungsfaktor, der den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorie 2b (mehrachsige LKW) am Verkehrsaufkommen je Geschwindigkeitsklasse entspricht
%	... Prozent

# INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG.....	I
SUMMARY .....	II
VORWORT .....	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	V
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
1.1 Allgemeines.....	4
1.2 Ziel der Arbeit.....	5
1.3 Methodik und Arbeitsablauf.....	5
<b>2. ALLGEMEINE EINFÜHRUNG IN DIE LÄRMTHEMATIK .....</b>	<b>6</b>
2.1 Definition von Lärm.....	6
2.2 Akustik .....	6
2.2.1 Definition von Schall .....	6
2.2.2 Schalldruck.....	7
2.2.3 Schalldruckpegel $L_p$ .....	7
2.2.4 Frequenz.....	9
2.3 Straßenverkehrslärm .....	10
2.3.1 Entstehung von Straßenverkehrslärm.....	10
2.3.2 Grenzwert, Mittelwert, Spitzenwert .....	11
2.3.2.1 Immissionsgrenzwerte .....	11
2.3.2.2 A-bewerteter Schallpegel $L_A$ in Dezibel.....	11
2.3.2.3 Energieäquivalenter Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ in Dezibel .....	12
2.3.2.4 Basispegel $L_{A,95}$ in Dezibel .....	12
2.3.2.5 Mittlerer Spitzenpegel $L_{A,1}$ in Dezibel .....	13
2.3.2.6 Maximalpegel $L_{A,max}$ in Dezibel .....	13
2.3.2.7 Minimalpegel $L_{A,min}$ in Dezibel .....	13
2.3.2.8 Lärmindizes .....	13
2.3.3 Rechnen mit Schallpegeln .....	13
2.3.4 Erfassung des Straßenverkehrslärms.....	14
2.3.4.1 Vorbeifahrtmessung .....	14
2.3.4.2 Rollgeräuschmessung gemäß RVS 11.06.64.....	16
2.3.4.3 Rollgeräuschmessung gemäß ISO/CD 11819 – 2 (CPX).....	18
<b>3. MÖGLICHKEITEN DER LÄRMMINDERUNG AN STRASSEN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Rechtliche Grundlagen.....	20
3.1.1 Richtlinie 2002/49/EG .....	20
3.1.2 Bundeslärmschutzgesetz .....	21
3.1.3 Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung.....	21
3.1.4 Dienstanweisung – Lärmschutz an Bundesstraßen.....	21
3.1.5 Richtlinie Lärmschutz Landesstraßen (hier exemplarisch die des Landes Steiermark) .....	21
3.1.6 Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS).....	22
3.1.7 Kraftfahrzeuggesetz-Durchführungsverordnung (KDV).....	22
3.2 Emissionsreduzierende Maßnahmen .....	23
3.2.1 Begrenzung der Schallemission eines Fahrzeuges .....	23
3.2.2 Lärmarme Reifen .....	24
3.2.3 Geschwindigkeitsreduktion .....	25
3.2.4 Lärm mindernde Fahrbahndeckschichten .....	26
3.3 Bautechnische Maßnahmen an Straßen .....	27
3.3.1 Bepflanzung, Gehölz .....	27
3.3.2 Lärmschutzwall .....	29
3.3.3 Lärmschutzwall mit aufgesetzter Wand.....	32
3.3.4 Steilwall .....	33
3.3.5 Einschnitts- und Troglage .....	34
3.3.6 Lärmschutzwand .....	35
3.3.6.1 Allgemeine Definition .....	35

3.3.6.2	Schallabsorptionseigenschaft einer Lärmschutzwand .....	35
3.3.6.3	Bauformen von Lärmschutzwänden .....	36
3.3.6.4	Gestaltung von Lärmschutzwänden .....	41
3.3.6.5	Materialien von Lärmschutzwänden .....	43
3.4	Bauliche Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden .....	46
3.4.1	Allgemeines .....	46
3.4.2	Bebauungsform .....	46
3.4.3	Anordnung und Stellung der Gebäude am Bauplatz .....	46
3.4.4	Gebäudeform und Grundrissentwurf .....	46
3.4.5	Bauliche Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden .....	47
<b>4.</b>	<b>SYSTEMATISCHE BERECHNUNG DER LÄRMIMMISSIONEN IM NAHBEREICH EINER GEWÄHLTEN STRASSENSITUATION.....</b>	<b>49</b>
4.1	Ausgangssituation .....	49
4.1.1	Entwicklung eines Geländemodells .....	49
4.1.2	Trassierung der Straßenachse.....	50
4.1.2.1	Trassierung im Grundriss.....	50
4.1.2.2	Trassierung im Aufriss .....	53
4.1.2.3	Regelquerschnitt .....	54
4.1.2.4	Begrenzung des Berechnungsgebietes .....	55
4.1.3	Verkehrsbelastung .....	57
4.2	Eingangsparameter für die Lärmberechnung.....	57
4.2.1	Basiskennwerte zur Ermittlung der Schallpegel .....	57
4.2.2	Maßgebende Verkehrsstärke.....	58
4.2.3	Berechnung des Emissionsschallpegels .....	59
4.2.4	Berechnung des Immissionsschallpegels .....	63
4.3	Lärmimmissionsberechnung mittels SoundPLAN .....	64
4.3.1	Maßgebliche Verkehrsstärken für den gegebenen Querschnitt .....	64
4.3.2	Emissionsschallpegel im Untersuchungsgebiet.....	65
4.3.3	Örtliche Festlegung der zu ermittelnden Immissionsschallpegel .....	66
<b>5.</b>	<b>ERGEBNISSE DER MODELLBERECHNUNG.....</b>	<b>67</b>
5.1	Allgemeines.....	67
5.2	Modellrechnung ohne bauliche Lärmschutzmaßnahme .....	68
5.2.1	Analyse für den Beurteilungszeitraum Tag .....	68
5.2.1.1	Rasterlärmkarten .....	68
5.2.1.2	Schnittlärmkarten .....	73
5.2.2	Analyse Beurteilungszeitraum Nacht.....	76
5.2.2.1	Rasterlärmkarten .....	76
5.2.2.2	Schnittlärmkarten .....	80
5.2.3	Beurteilung der Immissionsorte in der Siedlung .....	83
5.3	Modellrechnung mit Lärmschutzwandoptimierung.....	88
5.3.1	Analyse für den Beurteilungszeitraum Tag .....	91
5.3.1.1	Rasterlärmkarten .....	91
5.3.1.2	Schnittlärmkarten .....	95
5.3.2	Analyse für den Beurteilungszeitraum Nacht .....	98
5.3.2.1	Rasterlärmkarten .....	98
5.3.2.2	Schnittlärmkarten .....	102
5.3.3	Beurteilung der Immissionsorte in der Siedlung .....	105
<b>6.</b>	<b>VERGLEICHENDE ABSCHÄTZUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN VERSCHIEDENER LÄRMSCHUTZMASSNAHMEN.....</b>	<b>109</b>
6.1	Annahme der Lärmschutzmaßnahmen.....	109
6.2	Betrachtung eines Lebenszyklusansatzes .....	115
6.3	Monetäre Bewertung .....	116
6.3.1	Abschätzung der Errichtungskosten.....	116
6.3.2	Abschätzung der Erhaltungskosten .....	117
6.3.2.1	Abschätzung der Kosten für die Instandhaltung pro Jahr.....	117
6.3.2.2	Abschätzung der Kosten für die bauliche Erneuerung und Instandsetzung .....	118
6.4	Auswertung der berechneten Lebenszykluskosten.....	120

<b>7. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>126</b>
<b>GLEICHUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>128</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>129</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>133</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>134</b>
<b>ANHANG A: BERECHNUNG DER ABSCHÄTZUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN</b> .....	<b>I</b>

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 Allgemeines

Gemäß des achten Umweltkontrollberichts des Umweltbundesamtes, im Jahre 2007 veröffentlicht, fühlten sich im Jahre 2003 29 Prozent der Österreicher am Tag und/oder in der Nacht an ihren Wohnungen durch Lärm gestört, 16 Prozent sogar stark oder sehr stark. Verkehr ist dabei mit 73 Prozent der Nennungen die wichtigste Lärmquelle, wobei der Kraftfahrzeugverkehr in 60 Prozent der Antworten als Verursacher genannt wird [1].

Lärm beeinflusst nicht nur die Lebensqualität des Menschen, er hat auch Auswirkungen auf unsere Konzentrationsfähigkeit und unsere Gesundheit. Bei der gesundheitlichen Beeinflussung kann zwischen direkten und indirekten Auswirkungen unterschieden werden. Die direkten Auswirkungen entstehen durch Effekte der Schalleinwirkung auf das Hörorgan und können zu typischen Gesundheitsfolgen, wie zum Beispiel Innenohrschwerhörigkeit, führen. Weiter verbreitet sind jedoch die indirekten Wirkungen, die durch die subjektive Empfindung von Lärm ausgelöst werden. Diese indirekte Beeinflussung kann unter anderem zu einer höheren Aggressionsbereitschaft, Störung der Konzentrationsfähigkeit, Lernschwierigkeiten bei Kindern und durch die Erhöhung von Stresshormonen zu Beeinträchtigungen des Herz- Kreislauf- Systems führen [2].

Aufgrund der Erkenntnisse über die negativen Auswirkungen von Verkehrslärm und die stetig steigende Verkehrsleistung gewinnen Lärmschutzmaßnahmen zusehends an Bedeutung. Bislang wurden im hochrangigen Straßennetz größtenteils bauliche Maßnahmen, wie etwa Lärmschutzwände oder -dämme, eingesetzt.

Nach Angaben der Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft (ASFINAG) fließen derzeit durchschnittlich 20 bis 30 Prozent der Gesamtinvestitionen bei der Errichtung von Neubaustrecken in den Lärm- und Umweltschutz. Im Geschäftsjahr 2005 investierte die ASFINAG 58,1 Millionen Euro unmittelbar in Lärmschutzmaßnahmen, im Jahre 2006 bereits 85,6 Millionen Euro [3].

## 1.2 Ziel der Arbeit

Ohne die Notwendigkeit und Relevanz von Lärmschutzmaßnahmen in Frage stellen zu wollen, entstand – wie die oben genannten Zahlen der ASFINAG auch untermauern – in den letzten Jahren eine Art Wildwuchs beim Bau von Lärmschutzwänden. Dies führte soweit, dass der ehemalige Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie Hubert Gorbach im Jahre 2006 eine Weisung erließ, die dem entgegenwirken sollte. „Wir lassen die Bevölkerung nicht im Lärm stehen. Lärmschutz wird weiter große Bedeutung beigemessen. Aber man kann alles übertreiben. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis hat nicht immer gestimmt“, sagte Gorbach diesbezüglich in einer Pressekonferenz in Wien [4].

Diese Problematik eines sinnvollen Kosten-Nutzen-Verhältnisses stellt die Grundlage dieser Arbeit dar. Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene Fahrbahndeckschichten und deren Wechselwirkung mit den unterschiedlichsten Lärmschutzmaßnahmen untersucht und verglichen. Ausgewählte Kombinationen werden daraufhin aufgrund ihrer abgeschätzten Lebenszykluskosten – diese inkludieren Errichtung, Erhaltung und Erneuerung – nochmals gegenübergestellt.

Als Forschungsergebnis wird ein Vergleichswert stehen, der einem bestimmten Straßenaufbau eine erforderliche zusätzliche Lärmschutzmaßnahme – unter Berücksichtigung der abgeschätzten Lebenszykluskosten – zuweist. Somit können nicht nur die unterschiedlichen Lärminderungspotenziale, sondern auch die daraus möglicherweise resultierenden Einsparungen im Bereich des zusätzlichen, baulichen Lärmschutzes angegeben werden.

## 1.3 Methodik und Arbeitsablauf

Zu Beginn der Arbeit steht eine umfassende, auf Primär- und Sekundärliteratur gestützte Literaturrecherche zur allgemeinen Einführung in das Thema, zu Deckschichtsystemen und Lärmschutzmaßnahmen. Als zweiter Schritt werden mögliche Lärminderungspotenziale von Lärmschutzmaßnahmen und Fahrbahndeckschichten erörtert. Die für den Vergleich notwendige Geländemodellierung wird mittels Autodesk Civil 3d erstellt. Die Ausbreitungsberechnungen erfolgen mit SoundPLAN 6. Aufgrund dieser Ausbreitungsberechnungen wird eine Analyse verschiedener Fahrbahndeckschichten und Lärmschutzmaßnahmen durchgeführt. Nach einer zusätzlichen Betrachtung der möglichen Lebenszykluskosten für die unterschiedlichen Planfälle kann festgestellt werden, welcher Betrag investiert werden muss, um einen ausreichenden Schutz der betroffenen Anrainersiedlungen zu gewährleisten. Zudem kann so ermittelt werden, welche Kombination von Deckschichttyp und zusätzlicher Lärmschutzmaßnahme die – über einen Zeitraum von 30 Jahren betrachtet – wirtschaftlichste ist.

## **2. ALLGEMEINE EINFÜHRUNG IN DIE LÄRMTHEMATIK**

### **2.1 Definition von Lärm**

Der Begriff „Lärm“ wird in der Literatur auf verschiedene Art und Weise definiert.

Die österreichischen Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) geben dabei folgende Beschreibung an: Lärm ist unerwünschter Schall [5].

Laut ASFINAG ist Lärm die negativ gefärbte Erlebnisqualität, welche mit bestimmten Schallereignissen einhergeht. Lärm wird daher auch oft als – im weitesten Sinne – unerwünschter Schall bezeichnet. Unerwünscht deshalb, weil er belästigen, stören, aber auch die Gesundheit und das Wohlbefinden beeinträchtigen kann [6].

Als „Umgebungslärm“ werden – laut Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz – jene zu unzumutbaren Belastungen beitragenden Geräusche im Freien bezeichnet, die von menschlichen Aktivitäten verursacht werden und vom Straßenverkehr, vom Eisenbahnverkehr, vom zivilen Flugverkehr oder von Industrieanlagen ausgehen [7].

Hingegen ist derjenige Lärm, der von den betroffenen Personen selbst verursacht wird, sowie Lärm innerhalb von Wohnungen, Nachbarschaftslärm, Lärm am Arbeitsplatz, in Verkehrsmitteln oder Lärm, der auf militärische Tätigkeiten in militärischen Gebieten zurückzuführen ist, gemäß dem Bundes-Umgebungslärmschutzgesetzes kein Umgebungslärm [7].

Die Europäische Union (EU) wiederum definiert „Umgebungslärm“ als unerwünschte oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden, einschließlich des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie von Geländen für industrielle Tätigkeiten (gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG [49] des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) ausgeht [8].

All diese Definitionen zeigen, dass Lärm keine physikalisch messbare Größe darstellt, sondern aufgrund einer persönlichen Beurteilung eigener Erlebnisse eines objektiv messbaren Schallereignisses entsteht.

### **2.2 Akustik**

#### **2.2.1 Definition von Schall**

Als Schall bezeichnet man einen physikalischen Vorgang, der aus einer Folge von Druckschwankungen entsteht, die dem statischen Druck überlagert sind. In einem Luftraum, der sich im Gleichgewichtszustand befindet, herrscht überall der gleiche Gasdruck. Wird dieses Gleichgewicht durch Erzeugung eines kleinen Überdrucks gestört, so pflanzt sich diese Deformation, aufgrund der Elastizität der Luft, zeitlich verzögert, wellenförmig durch den ganzen Luftraum fort.

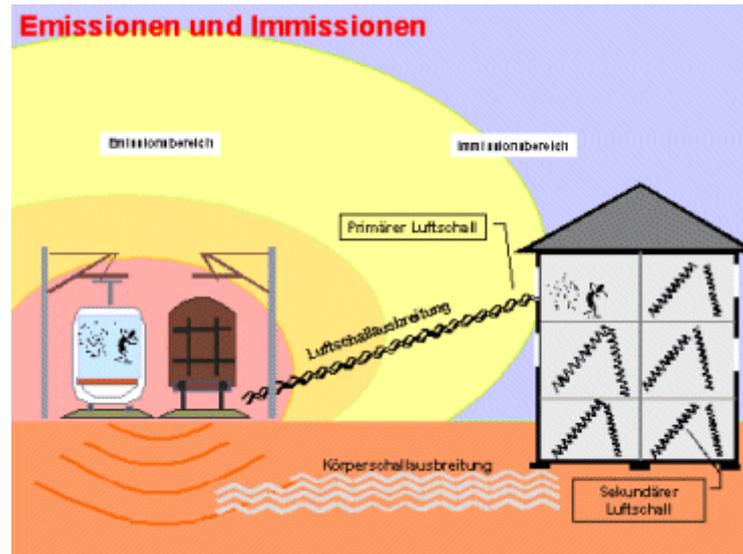


Abbildung 1 : Schallausbreitung [9]

Die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in der Luft beträgt bei Zimmertemperatur etwa 340 Meter pro Sekunde [10].

Je nach Medium, in dem sich der Schall ausbreitet, unterscheidet man zwischen Luftschall, Körperschall oder Flüssigkeitsschall.

Je nach Ausbreitungsweg können die verschiedenen Formen des Schalls ineinander überführt werden, zum Beispiel von Luftschall in Körperschall und umgekehrt. Wobei allerdings vom menschlichen Ohr nur Luftschall wahrgenommen wird.

Wenn die sich ausbreitende Schwingung eines Schallereignisses sinusförmig ist, nennt man den Schall einen Ton. Stehen nun die Frequenzen mehrerer Einzeltöne in einem bestimmten harmonischen Verhältnis zueinander, so spricht man von einem Klang. Sind die Schwingungen der Töne hingegen beliebig, so entsteht ein Geräusch. Technische Schallquellen sind dementsprechend vorwiegend Geräuscherzeuger [11].

Somit stellt auch der Straßenverkehrslärm ein Geräusch dar.

### 2.2.2 Schalldruck

Druckschwankungen, die dem stationären Gasdruck überlagert sind, werden Schalldruck genannt.

Der geringste durch das menschliche Ohr wahrnehmbare Schalldruck liegt bei etwa 20 Millionstel Pascal [20  $\mu$ Pa], der höchste bei über 100 Pa [10].

### 2.2.3 Schalldruckpegel $L_p$

Der Schalldruckpegel ergibt sich aus dem zehnfachen dekadischen Logarithmus des Verhältnisses der Quadrate des Effektivwerts des Schalldrucks  $p$  und des Bezugsschalldrucks  $p_0$  (siehe Gleichung 1).

$$L_p = 10 * \lg \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) \text{ [dB]}$$

Gleichung 1

mit  $L_p$  ... Schalldruckpegel

$p$  ... Effektivwert des Schallpegels

$p_0$  ... Bezugsschalldruck  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

Der Schalldruckpegel  $L_p$  wird vereinfacht als Schallpegel bezeichnet. Der so gebildete Wert ist dimensionslos und in Dezibel (dB) angegeben [12].

Die Hörschwelle des menschlichen Ohrs liegt bei einem Schallpegel von 0 dB, die Schmerzgrenze bei etwa 140 dB [6].



Abbildung 2 : Lärmstufen und Lärmwirkungen [6]

Heutzutage können Umgebungsgeräusche unter 20-30 dB allerdings quasi nicht mehr erreicht werden. Dazu müßte man sich schon fernab von Städten und Verkehrswegen befinden, ohne jegliche natürliche Schallquellen und natürlich bei absoluter Windstille.

Eine Unterhaltung weist zum Beispiel einen Schallpegel zwischen 40 dB und 60 dB auf, Stadtverkehr bei der Vorbeifahrt einen Schallpegel von 70 dB bis 95 dB.

**Tabelle 1: Beispiele für Geräuschquellen und deren Schallpegel [6]**

Schallpegel [dB]	Geräuschquelle
<b>Schallpegel, die das Gehör nicht schädigen</b>	
0	nicht zu hören = Hörschwelle
ca. 30	Flüstern
ca. 40	leise Radiomusik
ca. 60	normales Gespräch
ca. 70	PKW
ca. 80	starker Straßenverkehr, Betonfertigteilwerk
<b>Schallpegel, die das Gehör auf Dauer schädigen</b>	
85 – 90	schwere Erdbaumaschine = Grenze der Gehörschädlichkeit
95 – 100	Winkelschleifer
bis 100	Walkman
100 – 105	Baukreissäge
bis 110	Disco-Musik
100 – 110	Stahlarbeiten
105 – 110	Drucklufthammer, Fräsmaschinen
<b>Schallpegel, die das Gehör unmittelbar schädigen</b>	
ca. 130	Flugzeugstart
ca. 150	Geschützknall

## 2.2.4 Frequenz

Für die Hörbarkeit eines Schallvorganges ist nicht nur die absolute Größe des Schalldruckes wichtig, sondern auch die Anzahl der Druckschwankungen pro Sekunde. Das Verhältnis der Schwingungszahl pro Sekunde wird durch die Einheit Hertz (Hz) ausgedrückt.

Das menschliche Ohr nimmt Frequenzen von etwa 16 Hz bis 20.000 Hz wahr. Tiefere Frequenzen als 16 Hz werden nicht mehr als Töne, sondern als Erschütterungen empfunden, dieses Gebiet wird als „Infraschall“ bezeichnet. Bei Frequenzen über dem Hörbereich spricht man von „Ultraschall“ [10].

## 2.3 Straßenverkehrslärm

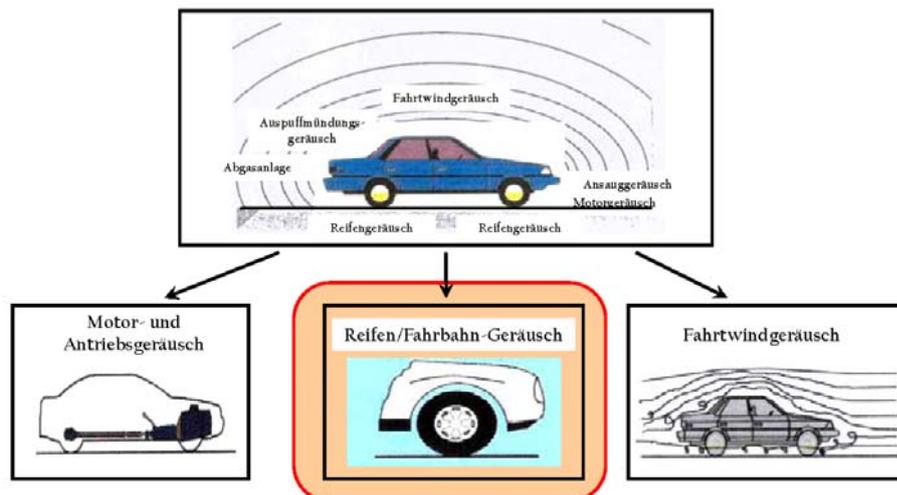
### 2.3.1 Entstehung von Straßenverkehrslärm

Als Straßenverkehrslärm wird die Summe der Lärmemissionen aller im Straßenverkehr teilnehmenden Fahrzeuge bezeichnet. Jedes einzelne dieser Fahrzeuge erzeugt über verschiedene Quellen Lärm, die zusammengenommen den Fahrzeuglärm ergeben [13].

Im Wesentlichen können drei Haupteinflussbereiche unterschieden werden, die zur Lärmbildung beitragen. Diese sind:

- o) das Motor- und Antriebsgeräusch,
- o) das Reifen/Fahrbahn-Geräusch und
- o) das Fahrtwindgeräusch.

Letzteres gewinnt allerdings erst bei hohen Geschwindigkeiten – bei PKW ab ca. 120 km/h – an Emissionsrelevanz.



**Abbildung 3 : Entstehung von Straßenverkehrslärm [14]**

Im letzten Jahrzehnt wurde der Antriebslärm, dessen Schallquellen der Motor, Auspuff, Ventilator und das Getriebe sind, durch die Herabsetzung der höchstzulässigen Schallpegel bei der Typenprüfung so weit gesenkt, dass er gegenüber dem Reifen/Fahrbahn-Geräusch oft nur mehr eine geringe Rolle spielt, sodass die Schallemission des Straßenverkehrs primär durch das Reifen/Fahrbahn-Geräusch bestimmt wird. Dies gilt auch schon für niedrige Geschwindigkeiten, die in der Stadt von PKWs gefahren werden (ab ca. 30 – 40 km/h).

Das Reifen/Fahrbahn-Geräusch entsteht beim Abrollen des Reifens auf der Fahrbahn und ist von der gefahrenen Geschwindigkeit, dem Reifentyp und der Straßenoberfläche abhängig [15]. Die Einflussfaktoren auf das Reifen/Fahrbahn-Geräusch sind in Abbildung 4 dargestellt.

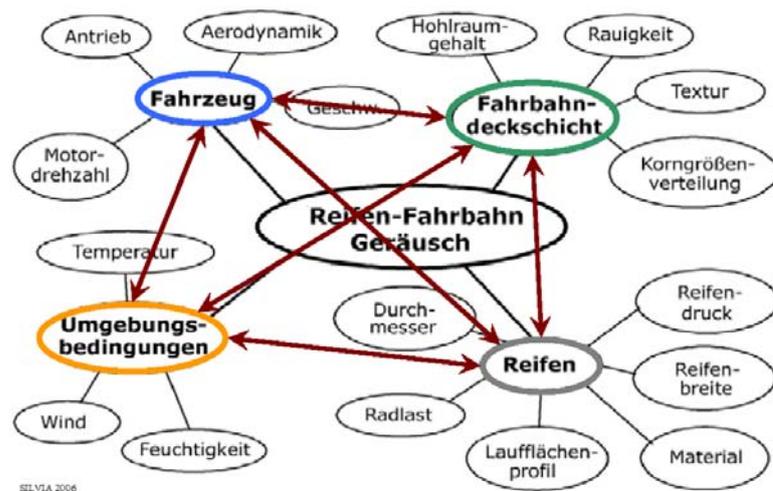


Abbildung 4 : Einflussfaktoren auf das Reifen/Fahrbahn-Geräusch [14]

## 2.3.2 Grenzwert, Mittelwert, Spitzenwert

### 2.3.2.1 Immissionsgrenzwerte

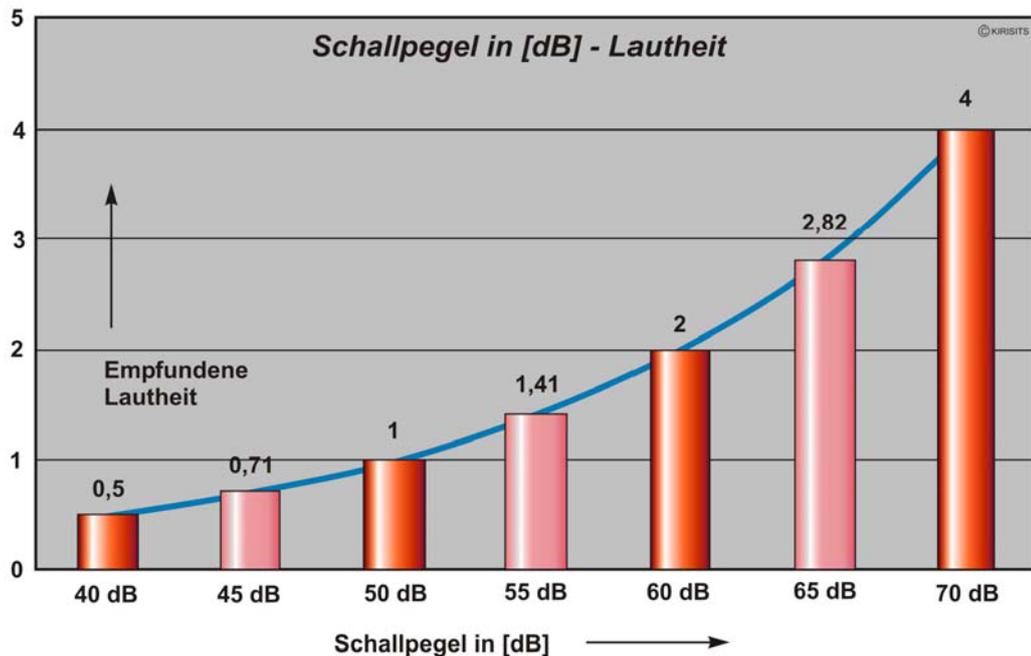
Die Immissionsgrenzwerte sind in Österreich in der „Dienstsanweisung – Lärmschutz an Bundesstraßen (Autobahnen und Schnellstraßen)“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) geregelt, für geplante und bestehende Straßen ident und betragen 60 dB für den Tag-Abend-Nachtzeitraum und 50 dB für den Nachtzeitraum [23].

### 2.3.2.2 A-bewerteter Schallpegel $L_A$ in Dezibel

Der A-bewertete Schallpegel  $L_A$  [dB] ist der mit der Frequenzbewertungskurve A nach ÖVE/ÖNORM EN 61672-1 [50] bewertete Schallpegel. Er berücksichtigt die Frequenzempfindlichkeit des menschlichen Ohres. Der A-bewertete Schallpegel wird zur Kennzeichnung der augenblicklichen Stärke der Schallimmission verwendet [5].

Aufgrund der logarithmischen Berechnung des Maßstabes bedeuten Veränderungen des Regelwertes folgendes für das Empfinden des menschlichen Ohres:

- bis 1 dB Minderung: nicht merkbar
- 1 dB Minderung: kaum merkbar
- 3 dB Minderung: deutlich merkbar
- 5 dB Minderung: Reduzierung der Lautheit um 30 %
- 10 dB Minderung: Halbierung der Lautheit



**Abbildung 5 : Empfundene Lautheit in Abhängigkeit des Schallpegels [6]**

Ein ganz wesentlicher Bestandteil der Untersuchung und Beurteilung von Geräuschen ist somit die Unterscheidung und Bewertung der objektiv und subjektiv erfassbaren Einflusskomponenten der Geräusche [6].

### 2.3.2.3 Energieäquivalenter Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ in Dezibel

Der  $L_{A,eq}$  ist als Einzahlangabe definiert, die zur Beschreibung eines Schallereignisses mit schwankendem Schallpegel (z.B. Straßenverkehrslärm) dient. Er wird errechnet als der Schallpegel, der bei dauernder Einwirkung dem ununterbrochenen Schall oder Schall mit schwankendem Schallpegel energieäquivalent ist [siehe Gleichung 2] [5].

$$L_{eq} = 10 \lg \left( \frac{1}{T_2 - T_1} * \int_{T_1}^{T_2} 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \right) \text{ [dB]} \quad \text{Gleichung 2}$$

- mit  $L_{eq}$  ... energieäquivalenter Dauerschallpegel  
 $T_1$  ... Beginnzeit des Schallereignisses  
 $T_2$  ... Ende des Schallereignisses  
 $L_{A(t)}$  ... gemessener Schalldruckpegel zum Zeitpunkt t  
t ... Zeitpunkt t

### 2.3.2.4 Basispegel $L_{A,95}$ in Dezibel

Der Basispegel  $L_{A,95}$  ist der in 95 Prozent der Messzeit überschrittene A-bewertete Schalldruckpegel der Schallpegelhäufigkeitsverteilung eines beliebigen Geräusches; er kennzeichnet einen Bereich der geringsten vorkommenden Schallpegel [10].

### 2.3.2.5 Mittlerer Spitzenpegel $L_{A,1}$ in Dezibel

Der mittlere Spitzenpegel ist der in 1 Prozent der Messzeit überschrittene A-bewertete Schalldruckpegel; er kennzeichnet einen Bereich „mittlerer“ Schallpegelspitzen [10].

### 2.3.2.6 Maximalpegel $L_{A,max}$ in Dezibel

Der Maximalpegel ist der höchste, während der Messzeit auftretende, A-bewertete Schalldruckpegel [10].

### 2.3.2.7 Minimalpegel $L_{A,min}$ in Dezibel

Der Minimalpegel ist der niedrigste, während der Messzeit auftretende, A-bewertete Schalldruckpegel [17].

### 2.3.2.8 Lärmindizes

Der  $L_{den}$  (den  $\equiv$  day- evening- night; Tag- Abend- Nacht- Lärmindex) in Dezibel [dB(A)] ist mit folgender Gleichung

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

definiert, wobei gilt:

$L_{day}$  (Taglärmindex) ist der A- bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2: 1987 [51], wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen jeweils am Tag erfolgen;

$L_{evening}$  (Abendlärmindex) ist der A- bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2: 1987 [51], wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen jeweils am Abend erfolgen;

$L_{night}$  (Nachtlärmindex) ist der A- bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2: 1987 [51], wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen jeweils in der Nacht erfolgen.

Für die Berechnung der Lärmindizes gelten in Österreich gemäß RVS 04.02.11 [5] folgende Zeiträume:

- Tag: 06:00 – 19:00 Uhr,
- Abend: 19:00 – 22:00 Uhr und
- Nacht: 22:00 – 06:00 Uhr.

Als ein Jahr ist das für die Umgebungslärmemission ausschlaggebende und für die Schallausbreitung durchschnittliche Kalenderjahr anzusehen. Die zugrunde gelegten Daten sollen nicht älter als drei Jahre sein [18].

## 2.3.3 Rechnen mit Schallpegeln

Allgemein gilt für die Berechnung des gesamten Schalldruckpegels  $L_{p,ges}$ , der von mehreren Schallquellen mit den Einzelschalldruckpegeln  $L_i$  verursacht wird:

$$L_{p,ges} = 10 \lg \left( \sum_i 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \text{ [dB]}$$

Gleichung 4

mit  $L_{p,ges}$  ... Gesamtschalldruckpegel  
 $L_i$  ... Einzelschalldruckpegel

Da der Schallpegel eine logarithmische Größe ist, sind zur Berechnung des Gesamtschallpegels die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Pegeladdition anzuwenden.

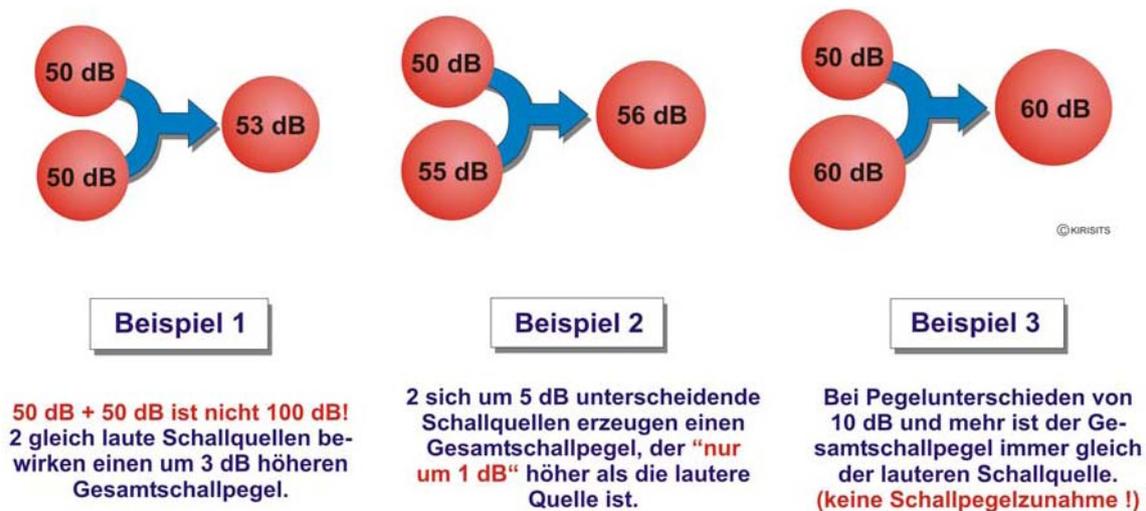


Abbildung 6 : Beispiele für das Rechnen mit Schallpegeln [17]

### 2.3.4 Erfassung des Straßenverkehrslärms

Bei der Ermittlung der auftretenden Schallemissionen des Straßenverkehrs können zwei Verfahren unterschieden werden, nämlich einerseits die Vorbeifahrtmessung und andererseits die Rollgeräuschmessung.

#### 2.3.4.1 Vorbeifahrtmessung

Um das Vorbeifahrtereignis von Fahrzeugen schalltechnisch erfassen zu können, wird in der internationalen Norm ISO 11819 – 1 [52] (SPB, Statistical Pass-By method) ein Verfahren zum Vergleich des Verkehrsgeräusches auf unterschiedlichen Straßenoberflächen bei verschiedenen Verkehrszusammensetzungen festgelegt. Das Verfahren kann entweder zur Klassifizierung von Fahrbahndeckschichten hinsichtlich ihrer Einflüsse auf das Verkehrsgeräusch oder zur Bewertung des Einflusses verschiedener Fahrbahndeckschichten auf das Verkehrsgeräusch eingesetzt werden. Es wird für frei fließenden Verkehr bei konstant gefahrenen Geschwindigkeiten von mindestens 50 km/h angewandt [20].

Bei der Durchführung einer so genannten Vorbeifahrtmessung gemäß ISO 11819 – 1 [52] wird der maximale A- bewertete Schalldruckpegel und die Geschwindigkeit einer statistisch signifikanten Anzahl einzelner Fahrzeuge während ihrer Vorbeifahrt an einem festgelegten Ort in Straßennähe gemessen. Jedes registrierte Fahrzeug wird einer der drei folgenden Fahrzeugkategorien zugeordnet:

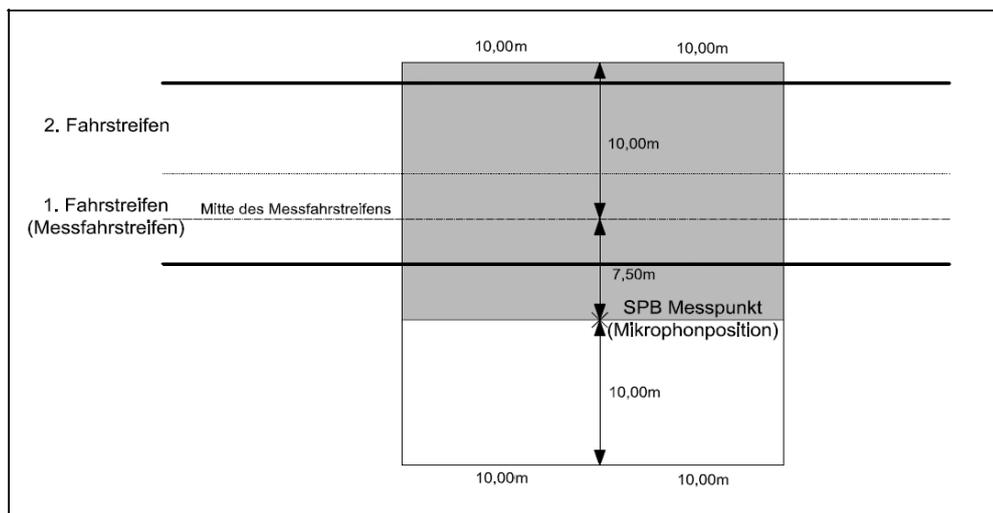
- Kategorie 1: PKW – Personenkraftwagen oder andere leichte Fahrzeuge
- Kategorie 2a: zweiachsige LKW – Lastkraftwagen, Linien- und Reisebusse mit zwei Achsen und mehr als vier Rädern, und
- Kategorie 2b: mehrachsige LKW – Lastkraftwagen, Linien- und Reisebusse mit mehr als zwei Achsen.

Für jeweils drei definierte Geschwindigkeitsklassen der Straße (niedrig: 45 – 64 km/h, mittel: 65 – 99 km/h und hoch: über 100 km/h) ist eine Referenzgeschwindigkeit in Abhängigkeit der drei Fahrzeugkategorien festgelegt (siehe Abbildung 7).

Fahrzeugkategorie		Geschwindigkeitsklasse der Straße					
		Niedrig		Mittel		Hoch	
Bezeichnung	Nr	Referenz- geschwindigkeit [km/h]	$W_x$	Referenz- geschwindigkeit [km/h]	$W_x$	Referenz- geschwindigkeit [km/h]	$W_x$
Pkw	1	50	0,900	80	0,800	110	0,700
Zweiachsige Lkw	2a	50	0,075	70	0,100	85	0,075
Mehrachsige Lkw	2b	50	0,025	70	0,100	85	0,225

**Abbildung 7 : Referenzgeschwindigkeiten und Bewertungsfaktoren  $W_x$  [20]**

Der Messplatz ist laut ISO 11819 – 1 [52] gemäß Abbildung 8 charakterisiert. Leitplanken oder Schutzwände, die sich innerhalb des grau markierten Rechteckes befinden, sind mit absorbierendem Material abzudecken. Weiters dürfen zwischen den Mikrofonen und dem Messfahrstreifen keine abschirmenden Leitplanken oder Schutzwände vorhanden sein (die Aufstellung des Mikrophons hat im akustischen Freifeld zu erfolgen).



**Abbildung 8 : Schematische Darstellung des Messplatzes lt. ISO 11819-1 [52]**

Jeder einzelne Vorbeifahrtpegel wird zusammen mit der zugehörigen Fahrgeschwindigkeit aufgezeichnet. Für jede Fahrzeugkategorie wird nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate eine Regressionsgerade des maximalen Geräuschpegels über dem Logarithmus der Geschwindigkeit berechnet. Daraus wird der A-bewertete Schalldruck-

pegel für die jeweilige Referenzgeschwindigkeit der drei Fahrzeugkategorien bestimmt und schließlich der SPB- Index nach Gleichung 5 berechnet.

$$SPBI = 10 \lg \left[ W_1 * 10^{\frac{L_1}{10}} + W_{2a} * \left( \frac{v_1}{v_{2a}} \right) * 10^{\frac{L_{2a}}{10}} + W_{2b} * \left( \frac{v_1}{v_{2b}} \right) * 10^{\frac{L_{2b}}{10}} \right]$$

Gleichung 5

mit SPBI ... statistischer Vorbeifahrtsindex für eine Standardzusammensetzung aus PKW und LKW

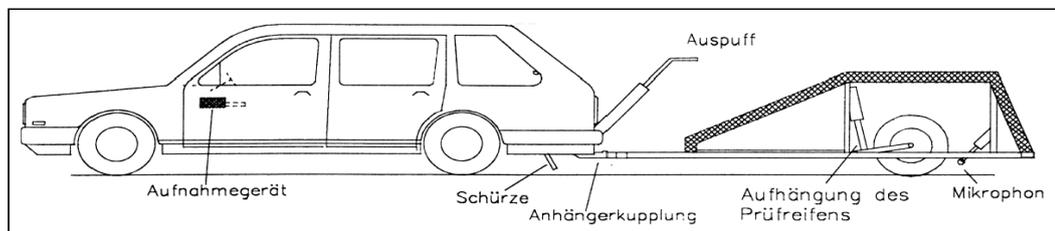
- $L_1$  ... Fahrzeuggeräuschpegel der Kategorie 1 (PKW)
- $L_{2a}$  ... Fahrzeuggeräuschpegel der Kategorie 2a (zweiachsige LKW)
- $L_{2b}$  ... Fahrzeuggeräuschpegel der Kategorie 2b (mehrachsige LKW)
- $W_1$  ... Bewertungsfaktor nach Abbildung 7, der den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorie 1 (PKW) am Verkehrsaufkommen je Geschwindigkeitsklasse entspricht
- $W_{2a}$  ... Bewertungsfaktor nach Abbildung 7, der den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorie 2a (zweiachsige LKW) am Verkehrsaufkommen je Geschwindigkeitsklasse entspricht
- $W_{2b}$  ... Bewertungsfaktor nach Abbildung 7, der den angenommenen Anteilen der Fahrzeugkategorie 2b (mehrachsige LKW) am Verkehrsaufkommen je Geschwindigkeitsklasse entspricht
- $v_1$  ... Referenzgeschwindigkeit der Fahrzeugkategorie 1 (PKW)
- $v_{2a}$  ... Referenzgeschwindigkeit der Fahrzeugkategorie 2a (zweiachsige LKW)
- $v_{2b}$  ... Referenzgeschwindigkeit der Fahrzeugkategorie 2b (mehrachsige LKW)

Um die zufälligen Abweichungen der Messergebnisse in einem annehmbaren Rahmen zu halten müssen folgende Mindestanzahlen an Fahrzeugen gemessen werden:

PKW	mindestens 100 Fahrzeuge
zweiachsige LKW	mindestens 30 Fahrzeuge
mehrachsige LKW	mindestens 30 Fahrzeuge
zwei- und mehrachsige LKW zusammen	mindestens 80 Fahrzeuge

### 2.3.4.2 Rollgeräuschmessung gemäß RVS 11.06.64

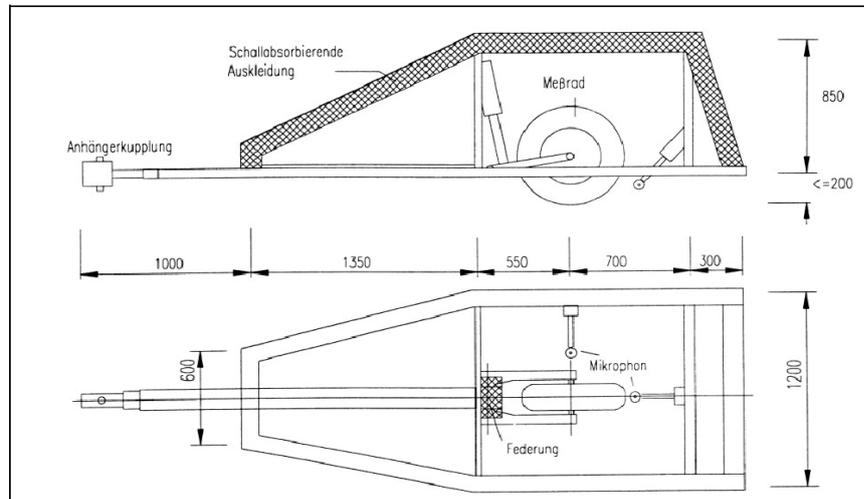
Die Messung des Rollgeräusches gemäß RVS 11.06.64 [53] erfolgt mit einem einrädigen Anhänger, der von einem Zugfahrzeug gezogen wird.



**Abbildung 9 : Schematische Darstellung der Prüfanordnung lt. RVS 11.06.64 [53]**

Der Messanhänger besteht aus einem nach unten hin offenen Kasten mit einer schallabsorbierenden Ummantelung aus Entdröhnungsfolie und Absorptionsmatte. Die Schallemission wird mit einem seitlich des Messrades und einem hinter dem Messrad

angebrachten Mikrophon gemessen. Die Mikrophone werden durch die Konstruktion des Messanhängers gegenüber Fremdgeräuschen weitgehend abgeschirmt. In Abbildung 10 ist die Anordnung der beiden Messmikrophone sowie eine Prinzipskizze des Rollgeräuschmessanhängers nach RVS 11.06.64 [53] dargestellt.



**Abbildung 10 : Prinzipskizze Rollgeräuschmessanhänger lt. RVS 11.06.64 [53]**

Als Messreifen wird in Österreich der 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. Dieser hat ein glattes Oberflächenprofil mit vier durchgehenden Längsrillen.

Vor Beginn jeder Messung muss der Reifen auf Betriebstemperatur gebracht werden. Dies geschieht laut RVS 11.06.64 [53] durch eine mindestens 15- minütige Einfahrzeit. Der Temperaturbereich der Fahrbahndecke für eine gültige Messung liegt zwischen  $10^{\circ}\text{C}$  und  $40^{\circ}\text{C}$ . Pro Messung sind mindestens zwei aufeinander folgende Einzelmessfahrten erforderlich, deren Ergebnisse sich nicht um mehr als 0,5 dB unterscheiden dürfen, um als gültig gewertet werden zu können. Aus den aufgezeichneten Rollgeräuschen wird für jedes Messmikrophon und jede Einzelmessfahrt der energieäquivalente A-bewertete Dauerschallpegel  $L_{A,eq}$  ausgewertet. Weiters ist bei der Messung eine Terzbandanalyse durchzuführen und diese Terzbänder mit den Mittenfrequenzen 250 Hz bis 10 kHz auszuwerten.

Durch eine energetische Mittelung der Messfahrten errechnet sich schließlich der LMA- Wert, der den maßgeblichen Rollgeräuschpegel und somit den Kennwert für das Rollgeräusch darstellt (siehe Gleichung 6).

$$LMA = 10 \lg \left( \sum_i 10^{\frac{LMA_{e,t,i}}{10}} \right) \quad \text{Gleichung 6}$$

- mit LMA ... A- bewerteter Terzbandpegel einer Messfahrt
- $LMA_{e,t,i}$  ... A- bewerteter Terzbandpegel eines Mikrophons bei einer Messfahrt
- e ... Messfahrt
- t ... Messmikrophon
- i ... Terzband

### 2.3.4.3 Rollgeräuschmessung gemäß ISO/CD 11819 – 2 (CPX)

Die Rollgeräuschmessungen nach dem internationalen Normentwurf ISO/CD 11819 - 2 (CPX) [54] erfolgen nach demselben Prinzip wie die in Punkt 2.3.4.2 beschriebenen Rollgeräuschmessungen gemäß RVS 11.06.64 [53].

Sie werden mit mindestens zwei Mikrofonen durchgeführt, angeordnet unter  $45^\circ$  zur Rollrichtung des Testreifens. Die Mikrofonhöhen der obligatorischen Mikrophone betragen 10 cm bei einem Abstand zur Reifenwand von 20 cm. Für die zusätzlich möglichen Mikrophone sind eine Höhe von 10 cm bzw. 20 cm und ein Abstand von 20 cm zur Reifenwand vorgeschrieben. Die genaue Anordnung der Mikrophone ist in Abbildung 11 dargestellt [54].

Es werden entweder zwei oder vier Reifen bei der Messung verwendet. Dabei handelt es sich um einen Repräsentant für PKW- Sommerreifen (Reifen A; Avon ZV 1), einen weiteren Repräsentant für Sommerreifen (Reifen B; Avon CR 322), einen Repräsentant für Winterreifen (Reifen C; Kingstar W410) sowie eine Repräsentant für LKW-Reifen (Reifen D; Vredestein Transportsteel).

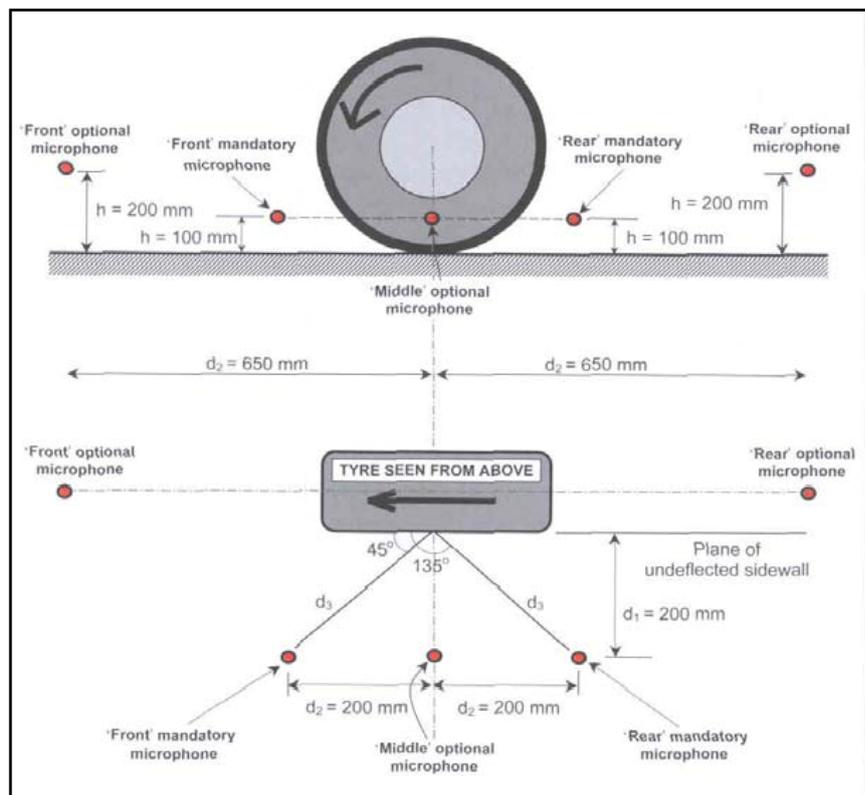


Abbildung 11 : CPX- Messungen, Prinzipdarstellung der Mikrofonpositionen [54]

Während der Durchführung der Messungen müssen jegliche Störgeräusche um mindestens 10 dB unter dem aufgenommenen Messsignal liegen. Pro Messstrecke werden mindestens 2 aufeinander folgende Messfahrten durchgeführt, wobei sich die Ergebnisse um nicht mehr als 0,5 dB unterscheiden dürfen.

Die Messgeschwindigkeit ist während der Messfahrt auf  $\pm 20 \%$  oder  $\pm 15 \text{ km/h}$  (strengere Bedingung gilt) genau konstant zu halten. Als Testreifen werden für die

Messungen vier verschiedene Reifentypen verwendet, die so gut wie möglich die aktuelle Reifenpopulation repräsentieren sollen.

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 vorzunehmen.

Als Ergebnis einer Rollgeräuschemessung wird schließlich ein so genannter Close Proximity Index (CPXI) nach Gleichung 7 errechnet, der sich aus dem energetisch ermittelten Schallpegel der vier verschiedenen Reifen ergibt.

$$\text{CPXI} = 0,2 * L_A + 0,2 * L_B + 0,2 * L_C + 0,4 * L_D \quad \text{Gleichung 7}$$

mit CPXI	...	Close Proximity Index
$L_A$	...	energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens A (Sommerreifen, PKW)
$L_B$	...	energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens B (Sommerreifen, PKW)
$L_C$	...	energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens C (Winterreifen, PKW)
$L_D$	...	energieäquivalenter Dauerschallpegel des Reifens D (LKW- Reifen)

## **3. MÖGLICHKEITEN DER LÄRMMINDERUNG AN STRASSEN**

Da der Verkehrslärm eine der wesentlichsten Lärmquellen darstellt, kommt Lärmschutzmaßnahmen größte Bedeutung zu. Grundsätzlich gibt es drei Möglichkeiten, die Lärmbelastung zu verringern, nämlich durch administrative, technische und planerische Maßnahmen.

Unter administrative Maßnahmen fallen zum Beispiel gesetzliche Regelungen von Grenzwerten, technische Maßnahmen beinhalten die Lärmbekämpfung an der Quelle sowie Lärminderungsmaßnahmen bei der Ausbreitung der Emission, planerische Maßnahmen umfassen Verkehrsplanung, Raumordnung und Flächenwidmung.

### **3.1 Rechtliche Grundlagen**

Lärmbekämpfung ist in Österreich eine sogenannte Querschnittsmaterie und wird jeweils im Zusammenhang mit anderen Verwaltungsangelegenheiten in der Zuständigkeit des Bundes oder der Länder wahrgenommen - es gibt kein allgemeines Gesetz zum Schutz vor Lärm. Aus diesem Grund finden sich im österreichischen Recht zahlreiche Bestimmungen über Lärmemissionen und -immissionen [19].

Die wichtigsten im Zuständigkeitsbereich des Bundes betreffend Lärmschutz an Straßen liegenden Gesetze sind:

- Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz
- Straßenverkehrsordnung
- Kraftfahrgesetz
- Kraftfahrgesetz-Durchführungsverordnung

In den Zuständigkeitsbereich der Länder fallen:

- Raumplanung
- Bauordnung

#### **3.1.1 Richtlinie 2002/49/EG**

Mit der Richtlinie 2002/49/EG [21] des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm soll ein gemeinsames Konzept festgelegt werden, um vorzugsweise schädliche Auswirkungen, einschließlich Belästigung, durch Umgebungslärm zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder sie zu mindern.

Diese Richtlinie soll auch eine Grundlage für die Einführung von Gemeinschaftsmaßnahmen zur Lärminderung bei den wichtigsten Lärmquellen darstellen; dies sind insbesondere Straßen- und Schienenfahrzeuge und Schieneninfrastruktureinrichtungen.

### **3.1.2 Bundeslärmschutzgesetz**

Das Ziel dieses Bundesgesetzes – des Bundeslärmschutzgesetzes (Bundes- LärmG [7] – ist es, schädlichen Auswirkungen von Umgebungslärm auf die menschliche Gesundheit sowie unzumutbaren Belästigungen durch Umgebungslärm vorzubeugen oder ihnen entgegenzuwirken.

Dieses Bundesgesetz hat Maßnahmen zum Gegenstand, die sich auf den Umgebungslärm im Freien beziehen, dem Menschen durch

- 1.) Verkehr auf Bundesstraßen,
- 2.) Eisenbahnverkehr

ausgesetzt sind.

### **3.1.3 Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung**

Die 144. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Methoden und technischen Spezifikationen für die Erhebung des Umgebungslärms (Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung – Bundes-LärmV [22]) enthält nähere Bestimmungen über

- 1.) die Lärmindizes,
- 2.) die Bewertungsmethoden für Lärmindizes,
- 3.) die Schwellenwerte.

### **3.1.4 Dienstanweisung – Lärmschutz an Bundesstraßen**

Diese Dienstanweisung [16] dient zur Planung und Errichtung von Maßnahmen zum Schutz der Menschen und ihrer natürlichen Umwelt gegen schädliche und störende Schallimmissionen, die vom Verkehr auf Bundesstraßen (Autobahnen und Schnellstraßen) ausgehen. Bei entsprechenden Grenzwertüberschreitungen ist der Einsatz von entsprechenden Lärmschutzmaßnahmen vorzusehen, soweit diese technisch durchführbar und im Hinblick auf den erzielbaren Erfolg wirtschaftlich vertretbar sind.

Zudem regelt die Dienstanweisung

- die Ermittlung der Lärmimmissionen
- die Immissionsgrenzwerte zur Beurteilung von Straßenverkehrslärm
- Kriterien für den Einsatz von Lärmschutzmaßnahmen an Straßen
- Maßnahmen an Häusern.

### **3.1.5 Richtlinie Lärmschutz Landesstraßen (hier exemplarisch die des Landes Steiermark)**

Diese Richtlinie (RiLL [23]) dient zur Beurteilung von Straßenverkehrslärm, der Planung und Errichtung von Maßnahmen zum Schutz der Menschen und ihrer natürlichen Umwelt gegen schädliche und störende Schallimmissionen, die vom Verkehr auf Landesstraßen ausgehen. Bei Grenzwertüberschreitungen ist der Einsatz von entsprechenden Lärmschutzmaßnahmen vorzusehen, soweit diese technisch durchführbar und im Hin-

blick auf den erzielbaren Zweck wirtschaftlich vertretbar sind. – Rechtliche Grundlage ist der § 16a des Landesstraßenverwaltungsgesetzes 1964, zuletzt geändert durch LGBL Nr. 89/2002.

Diese Richtlinie gilt für alle Landesstraßen sowohl im Freiland als auch im Ortsgebiet und ist zur Beurteilung von verkehrsbedingten Lärmimmissionen bestehender und neu zu planender Landesstraßen in der Steiermark zu verwenden.

Zudem regelt die Richtlinie

- die Ermittlung der Lärmimmissionen
- die Immissionsgrenzwerte zur Beurteilung von Straßenverkehrslärm
- Schutzmaßnahmen
- die Vorgangsweise bei objektseitigen Maßnahmen
- Bau und Erhaltung

### **3.1.6 Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS)**

Die Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr hat die RVS 04.02.11 Umweltschutz – Lärm und Luftschadstoffe – Lärmschutz [5] ausgearbeitet, die im Bereich der Bundesstraßen vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation, und Technik (BMVIT) verbindlich erklärt worden ist.

Die RVS 04.02.11 [5] ist eine Neufassung der RVS 3.02 (Dezember 1997 mit Anhang Oktober 1999) [55] und ersetzt diese.

Die RVS 04.02.11 [5] enthält Anweisung zur

- a) Ermittlung des Immissionsschallpegels,
- b) Berechnung des Immissionsschallpegels,
- c) Messung des Immissionsschallpegels,
- d) Beurteilung von Straßenverkehrslärm und
- e) Lärmschutzuntersuchungen.

Zudem sind Maßnahmen zum Schutz vor Straßenverkehrslärm erläutert. Diese werden in vorbeugende raum- und verkehrsplanerische, vorbeugende straßenplanerische und verkehrsorganisatorische Maßnahmen sowie bautechnische Maßnahmen an Straßen und gebäudebezogenen Maßnahmen unterteilt.

### **3.1.7 Kraftfahrzeuggesetz-Durchführungsverordnung (KDV)**

Die 399. Verordnung des Bundesministeriums für Handel, Gewerbe und Industrie vom 30. November 1967 über die Durchführung des Kraftfahrzeuggesetzes 1967 (Kraftfahrzeuggesetz-Durchführungsverordnung 1967 KDV 1967) idF der 50. KDV-Novelle [24] legt in Paragraph 8 Grenzwerte für den A-bewerteten Schallpegel des Betriebsgeräusches eines Kraftfahrzeuges oder Anhängers fest.

## 3.2 Emissionsreduzierende Maßnahmen

### 3.2.1 Begrenzung der Schallemission eines Fahrzeuges

Wie schon in Kapitel 2.3.1 erläutert, sind zwei wesentliche Bestandteile der Lärmbildung das Motor- und Antriebsgeräusch sowie das Reifen/Fahrbahn-Geräusch.

Das Motor- und Antriebsgeräusch wird durch die Fahrweise – also Motordrehzahl und Motorbelastung – sowie durch die technische Auslegung des Fahrzeuges determiniert.

Die Grenzwerte für den Lärm von Kraftfahrzeugen werden durch die Europäische Gemeinschaft als Anforderungen an Neufahrzeuge festgesetzt. Die Geräuschemissionsgrenzwerte bei der Fahrzeugtypenprüfung in den letzten Jahren kontinuierlich gesenkt wurden, was eine Abnahme der Antriebsgeräusche zur Folge hatte (siehe Abbildung 12) [10].

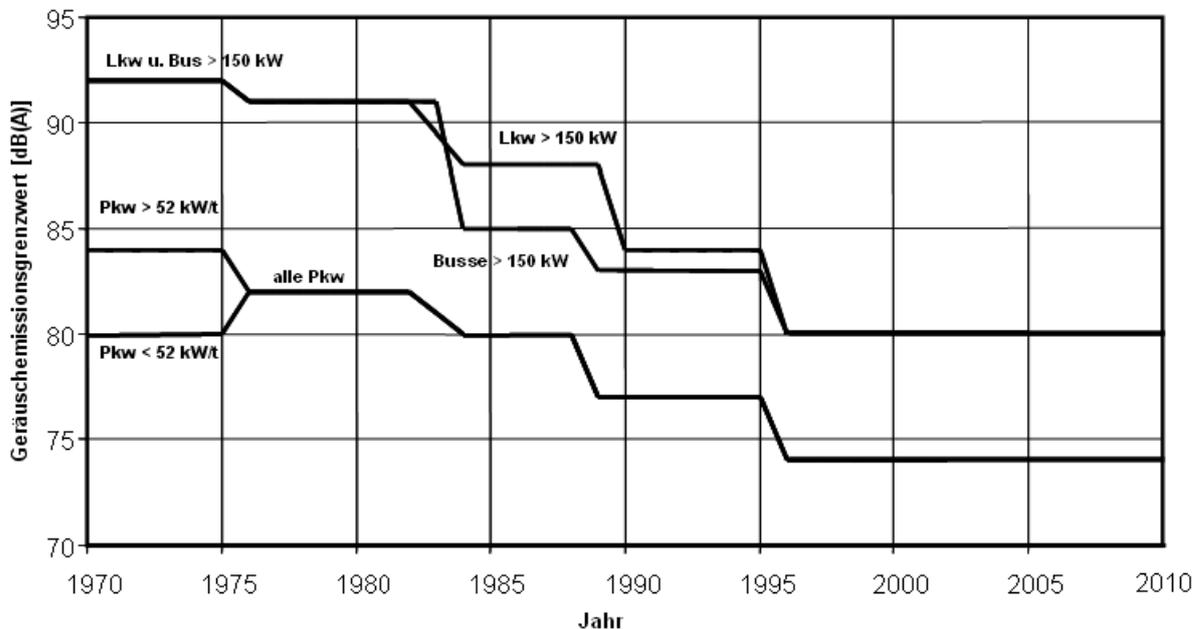


Abbildung 12 : Entwicklung der Fahrgeräuschgrenzwerte gemäß EU-Richtlinie 70/157/EG [25]

Die zu genehmigenden Kraftfahrzeuge müssen die Grenzwerte für die Fahrgeräusche nach Abschnitt 5.2.2.1 des Anhangs I der Richtlinie 70/157/EG einhalten. Die derzeit geltenden Grenzwerte sind:

Fahrzeugklasse	Wert in dB(A)
Pkw mit bis zu neun Sitzplätzen (einschließlich Fahrersitz)	74
Busse ab 3,5 t zulässige Gesamtmasse - Motorleistung bis 150 kW	78
- ab 150 kW	80
sonstige Busse und LKW - bis 2 t	76
- ab 2 bis 3,5 t	77
LKW ab 3,5 t - bis 75 kW	77
- ab 75 bis 150 kW	78
- ab 150 kW	80

**Abbildung 13 : Derzeit gültige Fahrgeräuschgrenzwerte gemäß EU-Richtlinie 70/157/EG (nach [26])**

Diese Werte erhöhen sich u. a. für dieselbetriebene PKW und Klein-LKW um 1 dB(A) und Geländefahrzeuge um bis zu 2 dB(A).

Nach der Grundregel des Abschnitts 5.1.1 von Anhang I der Richtlinie 70/157/EG müssen Fahrzeuge so beschaffen sein, dass sie die festgesetzten Grenzwerte bei normalen Betriebsbedingungen einhalten [26].

Seit dem Jahr 1996 beträgt der von der EG beschlossene Grenzwert für schwere Lkw 80 dB. LKW, die diesen Lärmgrenzwert einhalten, können gemäß der 28ten Novelle zur KDV1967 (BGBl 451/1989) [56] als "lärmarme LKW" besonders mit einem "L" gekennzeichnet werden. Damit wurde die Überwachung von Benutzervorteilsregelungen für lärmarme Lkw deutlich vereinfacht. Lärmarme LKW sind in Österreich vom geltenden Nachtfahrverbot von 22:00 bis 05:00 Uhr auf allen Transitautobahnen und begleitenden Bundesstraßen ausgenommen [10].

### 3.2.2 Lärmarme Reifen

Die Rollgeräusche eines Kraftfahrzeuges hängen im Wesentlichen von der gefahrenen Geschwindigkeit, der Fahrbahndeckschicht und vom Reifentyp ab. Bei höheren Geschwindigkeiten oberhalb ca. 50 km/h (bei Neufahrzeugen oberhalb ca. 35 km/h) überwiegt bei Personenkraftwagen das Rollgeräusch gegenüber dem Antriebsgeräusch [10].

Hinzu kommt ein Trend zu schwereren Fahrzeugen mit breiteren Reifen. Dies hat die Problemverschiebung hin zum Rollgeräusch noch erheblich verstärkt.

Mit der im August 2001 veröffentlichten Richtlinie 2001/43/EG [57] des europäischen Parlaments besteht eine einheitliche Messvorschrift für die Messung der Geräuschemission von Reifen; damit ist nun eine Einstufung der verschiedenen Reifen nach ihrer Geräuschemission möglich.

Allerdings werden die Anforderungen der Richtlinie bereits heute von den meisten am Markt befindlichen Reifen erfüllt, sodass für Hersteller kaum Anreize zur Weiterentwicklung lärmarmen Reifen bestehen. Sogar die Geräuschemissionen der derzeit auf

dem Markt befindlichen LKW-Reifen liegen zum Teil deutlich unter den Grenzwerten der EU-Richtlinie [10].

Weitergehende Reduktionen des Reifengeräusches sind aber nach fachlicher Beurteilung, ohne Einbußen beim Nassbremsverhalten oder Rollwiderstand, durchaus noch möglich.

Einer Studie über Lärminderungspotenziale für Straßen- und Schienenverkehr des BMVIT zufolge würden mehr als 90% der befragten Personen das Angebot zum Kauf lärmarmen Reifen wahrnehmen, rund 60% würden sogar einen bis zu 10% höheren Kaufpreis akzeptieren und zum Beispiel auf Umwelt belastende Breitreifen verzichten [10].

Dem Käufer fehlen gegenwärtig jedoch die nötigen Informationen, einen lärmarmen Reifen zu erkennen, da Angaben über die Geräuschpegel der Reifen nur schwer verfügbar sind.

### 3.2.3 Geschwindigkeitsreduktion

Eine weitere, von Anrainern immer wieder geforderte, Lärmschutzmaßnahme könnte eine verordnete Geschwindigkeitsbeschränkung darstellen. Um allerdings eine hörbare und akzeptierte Absenkung des Dauerschallpegels zu erreichen, muss der Unterschied zwischen derzeit gefahrener und zukünftiger Geschwindigkeit mind. 30-40 km/h betragen. Zudem sind hierbei PKW und LKW gesondert zu betrachten [27].

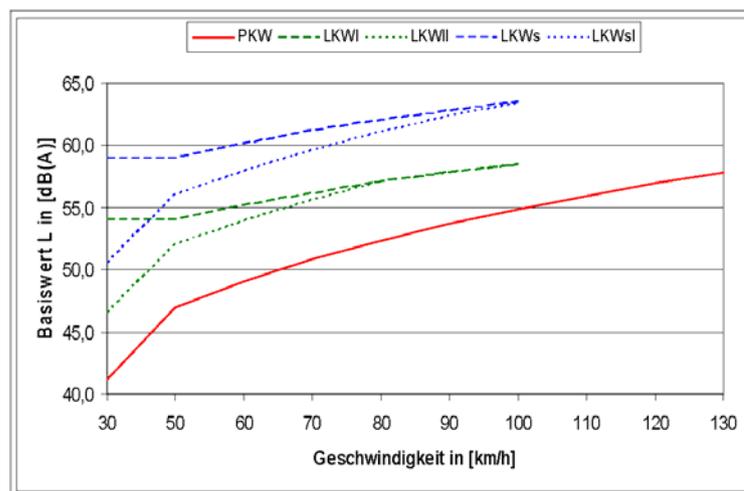


Abbildung 14 : Einfluss der Geschwindigkeit auf die Lärmentwicklung [27]

Eine Reduktion von 130 auf 100 km/h bringt bei PKWs eine Reduktion von ca. 3dB.

**Tabelle 2: Zusätzliche Lärminderung durch Geschwindigkeitsreduktion [28]**

Geschwindigkeitsreduktion von 130/100 [km/h] für PKW/LKW auf [km/h]	Reduktion des Schallpegels $L_{A,eq}$ [dB]
100 / 80	1,0 – 2,0
100 / 60	2,5 – 3,0
80 / 60	3,5 – 5,0

Von der Verkehrsbehörde werden allerdings Geschwindigkeitsbeschränkungen aus Lärmschutzgründen sehr restriktiv behandelt. Die Akzeptanz der Verkehrsteilnehmer bei guten Straßenverhältnissen und freier Sicht, eine langsamere Geschwindigkeit zu wählen, ist oft nicht gegeben.

**Tabelle 3: Festgestellte Wirkung der Geschwindigkeitsbegrenzung [28]**

Verordnete Geschwindigkeit	Wirkung
PKW 130 km/h LKW 80 km/h	Eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 130 km/h für PKW und 80 km/h für LKW wird zu 90 % eingehalten.
PKW 100 km/h	Eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 100 km/h für PKW wird von mehr als 50 % der Autofahrer akzeptiert. Allgemeine Reduktion der Geschwindigkeit.
PKW 80 km/h	Eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 80 km/h für PKW wird von kaum mehr als 10 % eingehalten.
LKW 60 km/h	Eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 60 km/h für LKW wird von 80 % nicht eingehalten.

### 3.2.4 Lärmindernde Fahrbahndeckschichten

Die Oberflächenstruktur einer Fahrbahn spielt bei der Schallanregung und Schallabstrahlung der abrollenden Reifen eine wichtige Rolle.

Durch Unebenheiten der Deckschicht wird der Reifen beim Abrollen zu Radialschwingungen angeregt. Die dadurch hervorgerufene Geräuschabstrahlung ist umso stärker, je unebener die Straßenoberfläche ist. So können auf sehr unebenem Pflaster wesentlich höhere Pegel entstehen als auf einem schalltechnisch günstigen Fahrbahnbelag [10].

Zudem werden aufgrund der Rotation des Rades im Reifenprofil entstehende "Luftkammern" in schnellem Wechsel von der Fahrbahnoberfläche abgeschlossen und wieder geöffnet ("Air-Pumping-Effekt"), was bei entsprechendem Tempo mit einer hochfrequenten Geräuschabstrahlung verbunden ist.

Ein schalltechnisch optimierter Fahrbahnbelag muss zum einen also so ausgelegt sein, dass die erwähnten Mechanismen möglichst wenig Rollgeräusch entstehen lassen, andererseits kommt es darauf an, den nicht weiter reduzierbaren Schall möglichst wirkungsvoll zu absorbieren. Das setzt eine offenporige Deckschicht mit hohem Hohl-

raumanteil voraus. Leider neigen hohlraumreiche Deckschichten zum Verschmutzen, wodurch auch die lärmindernde Wirkung abnimmt. Es gilt daher, praxistaugliche Reinigungsverfahren zu entwickeln. Überdies weisen offenporige Deckschichten aufgrund von Abnutzungs- bzw. Verschleißerscheinungen zumeist nur eine zeitlich begrenzte bzw. eingeschränkte Lärminderung auf [10].

Die aufgezeigten Probleme und Anforderungen erfordern umfassende interdisziplinäre Forschungsinitiativen.

So zeigten erste Untersuchungen für PKW-Reifen bereits, dass durch den Einbau dichter Fahrbahndeckschichten und durch Realisierung optimaler Texturen eine Minderung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche von 2 bis 4 dB, unter Berücksichtigung schallabsorbierender, offenporiger Deckschichten neuester Technologie sogar von 6 bis 8 dB erreichbar erscheinen [10].

Für LKW-Reifen sind geringere Lärminderungspotenziale bei dichten Fahrbahnoberflächen von etwa 2 dB zu erwarten. Erst wenn man der Fahrbahndeckschicht zusätzliche Eigenschaften wie hohes Schallabsorptionsvermögen verleiht (offenporige Deckschichten), ist gegenüber den "leisesten" dichten Oberflächen das Geräuschminderungspotenzial der offenporigen Fahrbahnen für LKW-Reifen bei 4 bis 5 dB anzunehmen [10].

Zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Wirkung sowie der Lebensdauer der Beläge sind die Ergebnisse von Langzeituntersuchungen noch abzuwarten.

### **3.3 Bautechnische Maßnahmen an Straßen**

Die Ausbreitung des Lärms erfolgt im Freien ungehindert nach allen Seiten. Wird die freie Schallausbreitung durch den Einfluss fester Hindernisse unterbrochen, so können sehr wirkungsvolle Schallpegelminderungen erzielt werden. Dabei ist die schalldämmende Wirkung außer von der Art des Hindernisses auch vom Schattenwinkel (Schallbeugungswinkel), der durch das Hindernis zwischen Schallquelle und zu schützendem Objekt erzeugt wird, abhängig [29].

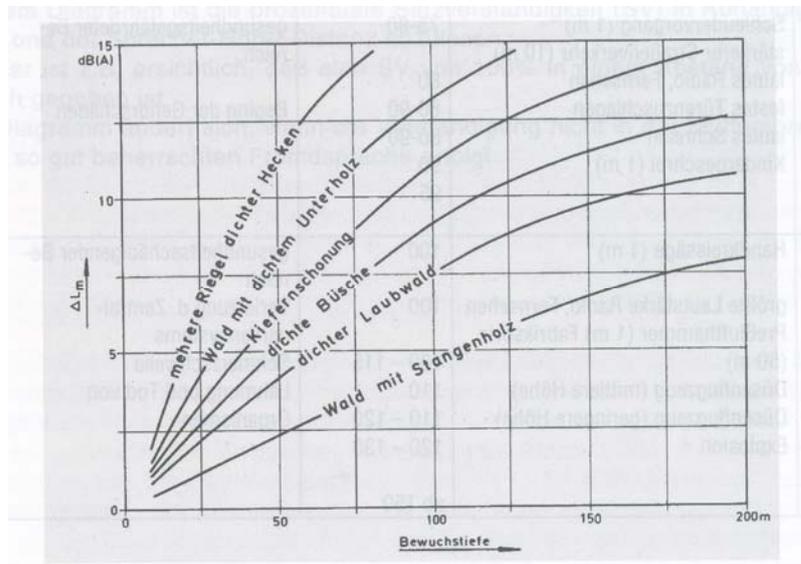
Abschirmeinrichtungen an Straßen sind umso wirksamer, je höher und je länger sie sind und je näher sie sich an der Straße befinden [5]. Lärmschutzanlagen müssen daher über die Bebauung hinausreichen, bei nicht ausreichender Überlappung kann die mögliche Abschirmwirkung nicht erreicht werden.

Neben den schallschutztechnischen Aspekten, Verkehrssicherheits- und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen, müssen auch gestalterische Aspekte beachtet werden. Ziel muss es sein, Lärmschutzanlagen so zu gestalten, dass sie sich harmonisch in die Umgebung einfügen und nicht als störende Fremdkörper empfunden werden. Demzufolge sollte – so entsprechende Flächen vorhanden sind – stets eine naturnahe Lösung angestrebt werden.

#### **3.3.1 Bepflanzung, Gehölz**

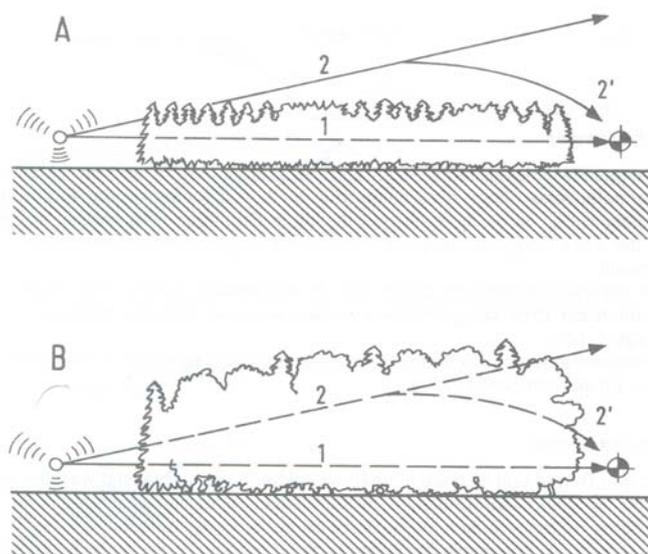
Liegt die gesamte Verbindungslinie von Schallquelle zu Immissionsorten innerhalb von Gehölzen, wird ein großer Teil der Schallenergie an den porösen Oberflächen der Bäume absorbiert, ein weiterer Teil durch Reflexionen an Bäumen auf den absorbierenden Waldboden gelenkt oder in Einfallrichtung zurückgeworfen.

Bepflanzung als Lärmschutz wird erst ab etwa einer Gehölztiefe von 50 m effektiv. Derartig große Flächen stehen aber in Planungsgebieten meist nicht zur freien Verfügung [30].



**Abbildung 15 : Lärmschutzwirkung unterschiedlicher Bepflanzungen [30]**

Abbildung 15 zeigt, dass ein dichtes Gehölz mit geringer Sichtweite die stärkste angeführte Dämpfung bringt. Hochstämmige Reinkulturen bringen die kleinste Ausbreitungsdämpfung aufgrund des fehlenden Unterholzes. Ein scheidender Einflussfaktor für die Ausbreitungsdämpfung ist in weiterer Folge auch die Bewuchshöhe. So haben ein dichter Kiefer- und Fichtenbewuchs zwar eine große Ausbreitungsdämpfung, allerdings kann auf Grund der geringen Baumhöhe der Schall von oben in das zu schützende Gebiet eindringen (siehe Abbildung 16).



**Abbildung 16 : Einfluss der Bewuchshöhe [30]**

Bepflanzungen zählen somit zu den am meisten überschätzten Maßnahmen des Schallschutzes. Nicht zu übersehen ist aber der psychologische Effekt. So zeigt sich,

dass auch bei minimaler Dämpfungswirkung durch den „grünen Eindruck“ ein leiseres Empfinden beim Menschen vorherrscht, obwohl rein messtechnisch kaum eine Pegeländerung feststellbar ist.

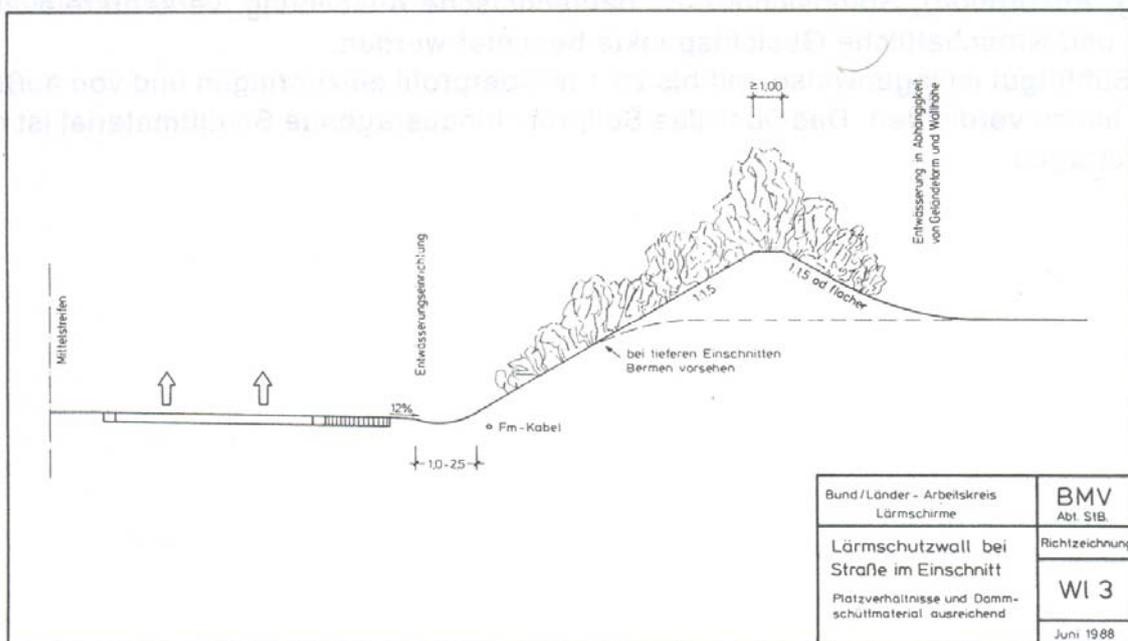
Die Bepflanzung von Lärmschutzanlagen ist allerdings auch ein wirksames Mittel, um die Bauwerke in ihr Umfeld zu integrieren, ihre Ansichtsflächen aufzulockern und zu gliedern. Abbildung 17 zeigt, wie durch die Bepflanzung einer Lärmschutzwand diese für den Autofahrer nahezu unsichtbar gemacht werden kann [31].



**Abbildung 17 : Beispiel der Bepflanzung einer Lärmschutzwand [31]**

### **3.3.2 Lärmschutzwall**

Unter einem Lärmschutzwall versteht man eine langgestreckte, begrünbare, schalldämmende Anschüttungen von Erde oder anderem Schüttgut. Die straßenseitige Böschungsneigung soll mit 2:3, die anlegerseitige Böschung aus Gründen des Landschaftsbildes flacher ausgebildet und landschaftsgerecht modelliert werden. Die minimale Kronenbreite eines Lärmschutzdammes ist nach RVS 04.02.11 [5] mit 1,0 m angegeben (siehe Abbildung 18).



**Abbildung 18 : Prinzipieller Aufbau eines Lärmschuttdammes [32]**

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Erdbauten (Erdwälle, Einschnitte) vom Gesichtspunkt der Einfügung in die Landschaft - vor allem bei entsprechender Bepflanzung - technischen Bauwerken gegenüber vorteilhafter sind. Dies gilt vor allem für Erdwälle in einer bewegten Topographie, wo in der Regel die Verbindung zur umgebenden Landschaft noch bessere Voraussetzungen findet als in der Ebene. Ein weiterer Vorzug von Erdbauten ist, dass sie im Gegensatz zu technischen Bauwerken keinem Verschleiß unterliegen und geringer ständiger Pflege und Wartung bedürfen. Bei entsprechender Bepflanzung mit standortgemäßen Gehölzen können sie außerdem als Teil eines Biotopverbundsystems funktionieren, wenn auch mit der Einschränkung, dass der Biotopwert für Tierpopulationen durch Verkehrsgeräusche und Gefährdungen entwertet werden kann. Für die Vegetation stellen Erdwälle durch ein in der Regel günstiges Porenvolumen einen guten Wuchsstandort dar, der auch bei Trockenheit ein befriedigendes Pflanzenwachstum sichert. Erdwälle bieten außerdem den Vorteil, dass anfallender Erdaushub (im Kern auch Baustoffabfälle) untergebracht werden kann und dadurch Deponieraum und -kosten gespart werden können. Nachteile ergeben sich vor allem durch den gegenüber Lärmschutzwänden höheren Flächenbedarf [29].

Mittlerweile müssen Lärmschutzwälle aber nicht zwangsläufig lagenweise geschüttet werden und benötigen auch nicht mehr zwingenderweise die enormen Schüttungsflächen, da es bereits fertige Systeme am Markt gibt (siehe Abbildung 19 bis Abbildung 21).

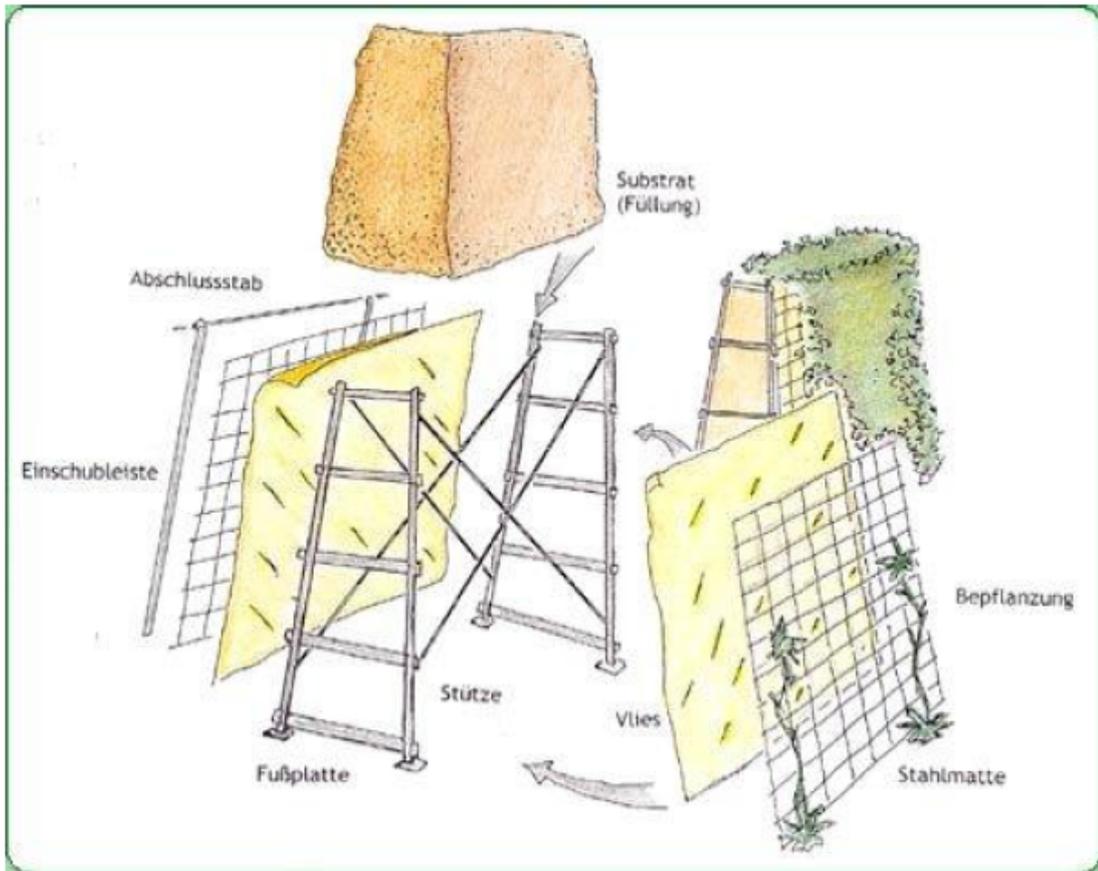


Abbildung 19 : Prinzipskizze Lärmschutzwall System Aquasol KNL [33]



Abbildung 20 : Lärmschutzwall System Aquasol KNL im Bau [33]



**Abbildung 21 : Lärmschutzwall System Aquasol KNL [33]**

### **3.3.3 Lärmschutzwall mit aufgesetzter Wand**

Ein Lärmschutzwall mit aufgesetzter Wand scheint dann zweckmäßig, wenn der verfügbare Platz für einen reinen Erdwall nicht ausreicht. Aus Gründen des Baues und der Erhaltung ist nach RVS 04.02.11 [5] eine Mindestkronenbreite von 2,0 m empfohlen.

In Abbildung 22 ist beispielhaft ein Lärmschutzwall mit einer aufgesetzten Wand dargestellt.

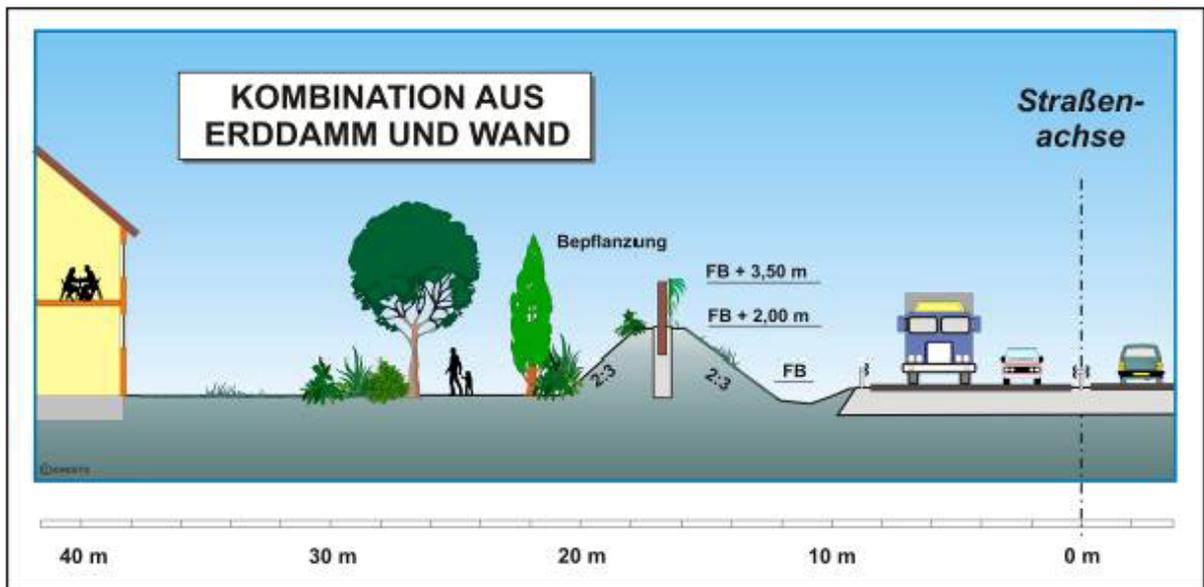


Abbildung 22 : Kombination aus Erddamm und Lärmschutzwand [27]

### 3.3.4 Steilwall

Als Steilwall betrachtet man eine Abschirmeinrichtung aus Stein beziehungsweise eine Betonstützkonstruktion (Raumgitterkonstruktion), die mit Humus aufgefüllt und schließlich bepflanzt wird. Durch eine künstliche Stützkonstruktion ist die Seitenneigung des Erd-(Humus-) -prismas wesentlich steiler als die durch die Scherfestigkeit des eingebauten Bodens bestimmte natürliche Böschungsneigung (zweckmäßig, wenn verfügbarer Platz für einen Erddamm nicht ausreicht) [5].

Bei der Entscheidung, ob ein Steilwall gewählt werden soll, sind dessen Herstellungs-, Unterhaltungs- und gegebenenfalls zusätzliche Bewässerungskosten gegenüber einer Lärmschutzwand mit beidseitiger Vorpflanzung zu berücksichtigen und abzuwägen.

Besonderes Augenmerk ist auf die Einbindung des Steilwalles in die Umgebung oder den Anschluss an ein anderes Bauwerk zu richten. Abbildung 23, Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen das Beispiel begrünter Steilwälle.

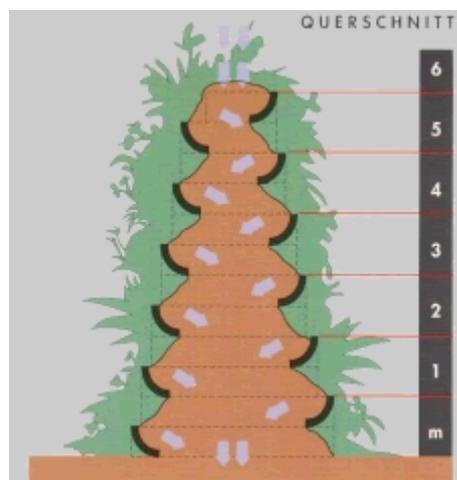


Abbildung 23 : Begrünter Steilwall „Greenwall“ Systemskizze [34]



**Abbildung 24 : Begrünter Steilwall „Greenwall“ [34]**



**Abbildung 25 : Begrünter Steilwall [31]**

Der Bepflanzung kommt zur Einpassung dieser Konstruktion in die örtlichen Verhältnisse eine besondere Bedeutung zu. Eine dauerhafte Bepflanzung von Steilwällen ist schwierig. Durch die geringe Dicke der Pflanzsubstrate entstehen in Verbindung mit der Aufheizung der Tragelemente bei Sonneneinstrahlung erheblicher Wassermangel sowie größere Temperaturschwankungen als in der Umgebung [31].

### **3.3.5 Einschnitts- und Troglage**

In beiden Fällen kann die Schirmwirkung von Einschnittsböschungen und Stützmauern durch zusätzliche Wallaufschüttungen und Lärmschutzwände verstärkt werden. Besteht die Gefahr der Erhöhung der maßgebenden Schallimmission durch Schallreflexion an den Seitenwänden, so sind diese Seitenwände schallabsorbierend mit einem Schallabsorptionsgrad  $DL_{\alpha} \geq 4$  dB auszuführen – siehe RVS 04.02.11 [5].

### 3.3.6 Lärmschutzwand

#### 3.3.6.1 Allgemeine Definition

In der RVS 04.02.11 [5] wird eine Lärmschutzwand als ein langer, schalldämmender Baukörper, dessen Querschnitt einem stehenden, schmalen Rechteck entspricht, definiert. Eine Lärmschutzwand erscheint dann zweckmäßig, wenn verfügbarer Platz für Wall und Steilwall nicht ausreicht oder die Straße in hoher Dammlage beziehungsweise auf Brücken verläuft. Wichtig ist die ästhetisch ansprechende Gestaltung und Einfügung in das Orts- und Landschaftsbild.

Der Abstand der Lärmschutzwand von der Fahrbahn ergibt sich aus den erforderlichen Haltesichtweiten und dem Lichtraumprofil. Außerdem sind Erhaltung, Winterdienst und bei größeren Längen auch Fluchtwege zu berücksichtigen.

Die für den Verkehrslärm maßgebende Luftschalldämmung  $DL_R$  soll mindestens 10 dB über der größten erzielten Schirmwirkung liegen und mindestens 25 dB betragen. Dabei sind Fugen und Türöffnungen zu berücksichtigen. Lärmschutzwände sind erforderlichenfalls (hoch)absorbierend auszuführen [5].

Im Wesentlichen können drei verschiedene Typen von Lärmschutzwänden untergliedert werden, nämlich reflektierende, absorbierende und hochabsorbierende Wände. Absorbierende Wände haben den Vorteil, dass auf der lärmzugewandten Seite keine Erhöhung der Emission durch Reflexion eintritt, sodass man von einem ca. 1-2 dB niedrigerem Emissionspegel bei der Verwendung von absorbierenden Wänden gegenüber von reflektierenden Wänden ausgehen kann. Weiterns ist bei absorbierenden die Schirmwirkung bei größeren LKW-Aufbauten im Vergleich zu reflektierenden Lärmschutzwänden verringert, da keine Mehrfachreflexionen auftreten, bei denen der reflektierte Strahl unter einem flacheren Ausfallwinkel austritt.

Während hochabsorbierende Wände zwar den höchsten Absorbierungsgrad aufweisen, sind sie aber empfindlicher und kurzlebiger als reflektierende Lärmschutzwände und dementsprechend kostenintensiver [31].

#### 3.3.6.2 Schallabsorptionseigenschaft einer Lärmschutzwand

Die Schallabsorption einer Lärmschutzwand wird durch den Schallabsorptionsgrad und dem daraus abgeleiteten Kennwert  $DL_\alpha$  beschrieben. Der Kennwert  $DL_\alpha$  gibt an, um wie viel der allein durch die Reflexion hervorgerufene A- bewertete Schallpegel niedriger ist als bei 100 % Reflexion. Überlagert sich der reflektierte Schall direkt dem ungehindert einfallenden Schall, so sollte zumindest eine Wand mit  $DL_\alpha \geq 4$  dB ausgeführt werden [5].

Die Schallabsorption einer Lärmschutzwand ist auf Dauer, unabhängig von Alterung und Witterungseinflüssen, zu sichern. Der von einer Wandfläche reflektierende Schall (Straßenverkehrsgeräusch) muss unter Berücksichtigung der A- Bewertung (nach [27])

- bei reflektierenden Flächen um weniger als 4 dB,
- bei absorbierenden Flächen einen um mindestens 4 dB, aber weniger als 8 dB
- bei hochabsorbierenden Flächen einen um mindestens 8 dB

geringeren Schallpegel als der auf diese Fläche auftreffende Schall haben.

### 3.3.6.3 Bauformen von Lärmschutzwänden

Die Standardlösung ist eine Lärmschutzwand direkt am Bankettrand, hier werden die besten Abschirmwerte erzielt. Bei Kombinationen von Lärmschutzdämmen und aufgesetzten Wänden ist die Frage der Grundaufbringung zu klären beziehungsweise ist durch den schlechteren Schirmwert dieser Maßnahme bezogen auf die gleiche Höhe über Fahrbahn eine höhere Ausführung notwendig, um die gleiche Abschirmung zu erreichen wie bei einer standardmäßig ausgeführten Lärmschutzwand [27].

#### Mittelwände

In bestimmten Fällen kann es sinnvoll sein, die zweite Richtungsfahrbahn (entferntere Lärmquelle) ebenfalls abzuschirmen. Dies kann vor allem bei Wohnhäusern in Hanglage sinnvoll sein. Eine Lärmschutzanlage am äußersten Fahrbahnrand alleine würde hier keine Abschirmung des zweiten Fahrstreifens ergeben. Die maximale Schallpegelminderung ergibt sich allerdings mit weniger als 3 dB, da theoretisch nur die halbe Verkehrsmenge abgeschirmt werden kann. Als Ergänzung zu Lärmschutzwänden am Fahrbahnrand können Mittelwände bei getrennten Richtungsfahrbahnen allerdings sinnvoll sein [27] (siehe Abbildung 26 und Abbildung 27).

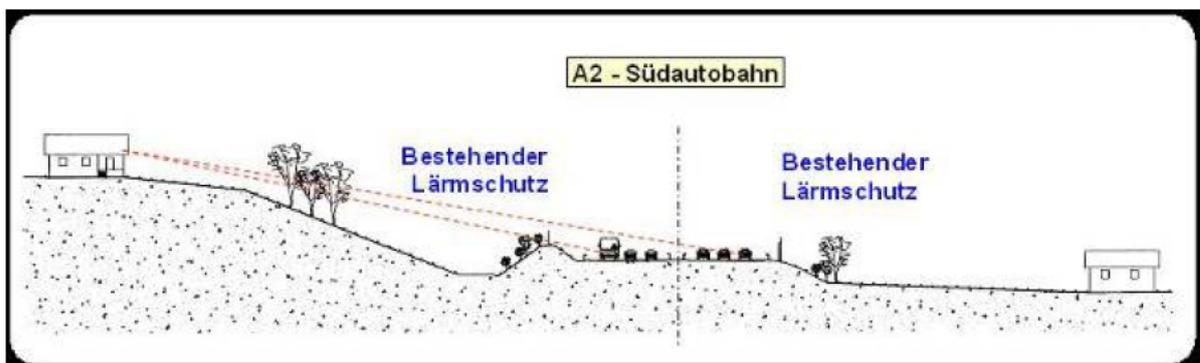


Abbildung 26 : Problematik entfernter Schallquellen [27]



Abbildung 27 : Lösung durch den Bau einer Mittelwand [27]

## Gekrümmte Wände

Mit einer rund fünf Meter hohen kreisförmigen Lärmschutzwand können Verbesserungen erzielt werden, die mit geraden Elementen weit höhere Lärmschutzwände oder Einhausungen erfordern würden. Eine Höhe zwischen fünf und fünfseinhalb Meter markiert die Grenze für landschaftlich verträgliche Lärmschutzwände. Beträchtliche Vorteile bringt das System im Vergleich zu Einhausungen durch den Entfall von zusätzlichen technischen Maßnahmen, wie Lüftungseinbauten, Beleuchtung und eine wesentlich geringere Behinderungen während der Errichtungsphase [27].

Abbildung 28 zeigt eine Prinzipskizze einer solchen Wand, Abbildung 29 eine bereits durch die ASFINAG errichtete.

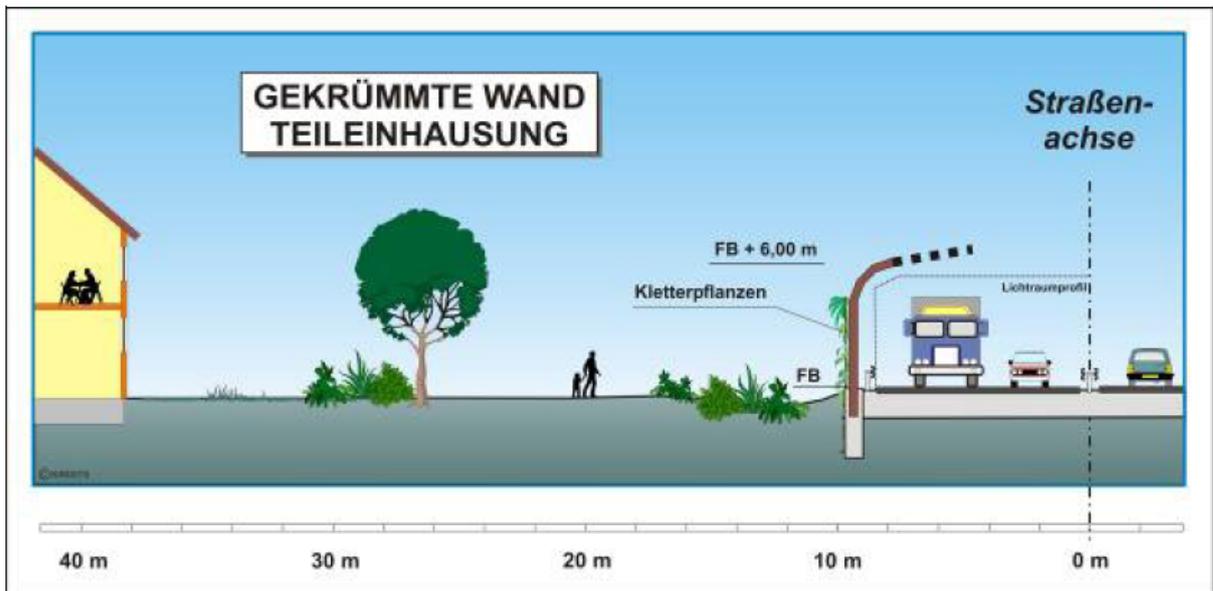
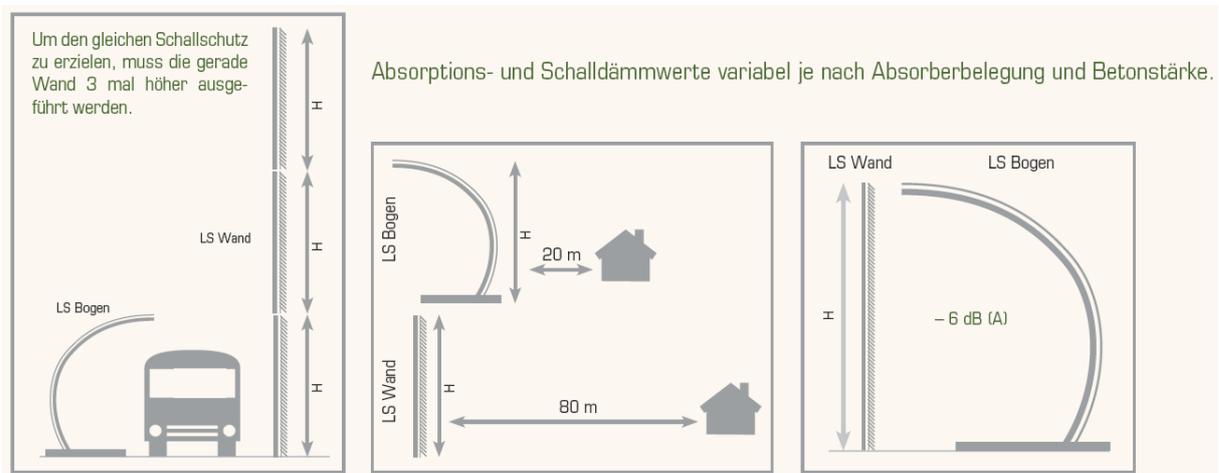


Abbildung 28 : Prinzipskizze einer gekrümmten Wand [27]



Abbildung 29 : Gekrümmte Wand an der A22 Donauufer- Autobahn bei Korneuburg [27]

Abbildung 30 zeigt eine von der Firma Rieder vorgenommene Zusammenstellung über die zu erzielenden Vorteile einer gebogenen Lärmschutzwand im Vergleich zu einer geraden.



**Abbildung 30 : Vorteile einer gebogenen Lärmschutzwand [35]**

In Abbildung 31 ist eine weitere Variante einer gebogenen Lärmschutzwand dargestellt – nämlich eine nur am oberen Ende gebogene.



**Abbildung 31 : Kleiner Bogen an der A1 West- Autobahn bei Salzburg- Taxham [35]**

### **Abgewinkelte Lärmschutzwände**

Ähnlich wie bei gekrümmten Wänden kann die abschirmende Wirkung auch durch eine über die Fahrbahn auskragende Lärmschutzwand erhöht werden (siehe Abbildung 32).



**Abbildung 32 : A23 Südosttangente; Abgewinkelte Lärmschutzwand [27]**

### **Absorbierende Aufsatzelemente für Lärmschutzwände**

Bei dem Lärmschutzwandaufsatz „Octagon“, der auch auf vorhandene Lärmschutzwände aufgesetzt werden kann, handelt es 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.

Vergleicht man das Aufsatzsystem mit einer Erhöhung der Lärmschutzwand, die dieselbe Pegelreduktion bewirkt, so ergibt sich, dass die Lärmschutzwand um genau 2,0 Meter erhöht werden müsste, um im Mittel die gleiche Reduktion zu erreichen [27].



**Abbildung 33 : Lärmschutzwandaufsatz „Octagon“ [27]**

## Einhausung der Autobahn

Vor allem in inneralpinen Tallagen, wo mit herkömmlichen Schutzmaßnahmen nicht mehr die gewünschte Wirkung erzielt werden kann, werden Forderungen nach einer Überdachung und Einhausung der Autobahnen immer häufiger. Da Massiveinhausungen extrem kostspielig in der Errichtung und Erhaltung sind, gibt es erste Entwürfe und Untersuchungen von Leichteinhausungen.

Die Abbildung 34 und Abbildung 35 zeigen einen Entwurf für den Kanton Zürich, Abbildung 36 Bilder der bereits fertiggestellten Einhausung Bindermichl.



Abbildung 34 : Schnitt der geplanten Autobahneinhausung Schwamendingen [36]



Abbildung 35 : Ansicht der geplanten Autobahneinhausung Schwamendingen [36]



Abbildung 36 : Einhausung Bindermichl; Portale [37]

### 3.3.6.4 Gestaltung von Lärmschutzwänden

Lärmschutzwände sind optisch dominante Bauwerke, bei denen auf ansprechende Gestaltung Wert zu legen ist. Grundsätzlich sollen sie so unauffällig wie möglich in das Umfeld eingebunden werden (siehe auch Abbildung 17 in Kapitel 3.3.1). Lärmschutzwände können insbesondere bei großen Bauhöhen erdrückend und einengend wirken. Die Assoziation „Mauer“ sollte bei hohen Wänden vermieden werden. Auf eine ansprechende Gestaltung ist besonders anliegerseitig bei naher Bebauung und dort, wo eine ausreichende Bepflanzung nicht möglich ist, zu achten (siehe Abbildung 37, Abbildung 38a und 38b).



Abbildung 37 : A1 West- Autobahn bei St. Pölten, Richtung Salzburg [27]



Abbildung 38a : Bausteinsystem der Firma Durisol [38]



**Abbildung 38b : Bausteinsystem der Firma Durisol [38]**

Der Gestaltung durch Bepflanzung ist große Bedeutung beizumessen. Durch beidseitige Bepflanzung einer Lärmschutzwand ist die beste Einpassung in die Umgebung zu erreichen. Wenn Flächen für Baum und Strauchbepflanzung fehlen, sollen Rankgewächse vorgesehen werden.

Eine weitere Neuerung bieten landschaftsgestalterisch angepasste Lärmschutzwände, wie sie zum Beispiel die Firma Rieder anbietet (siehe Abbildung 39).



**Abbildung 39 : Landscape- System der Firma Rieder [39]**

### 3.3.6.5 Materialien von Lärmschutzwänden

Heutzutage werden Lärmschutzwände aus den verschiedensten Materialien, wie zum Beispiel Holz, Beton oder Leichtmetall, hergestellt.

#### Holz

Das verwendete Holz muss resistent gegen organische Schädlinge sein oder geschützt werden durch ein Holzschutzmittel (Kesseldrucktränkung). Die Bemessung und Ausführung der Holzbauteile sind nach DIN 1052 [58] durchzuführen. Die Mindestdicke muss 8 mm betragen. Risse und Verwerfungen dürfen die schalltechnische Funktion und die Standsicherheit nicht beeinträchtigen [27].



**Abbildung 40 : Lärmschutzwand aus Holz [27]**

#### Beton

Der Beton für Bauteile aus unbewehrtem Beton, Stahlbeton oder Spannbeton muss den Anforderungen der ÖNORM B4700, Ausgabe 1.6.2001 [59] entsprechen. Sichtbare und im Frostbereich liegende Betonbauteile müssen einen hohen Widerstand gegen Frost und Tausalze und gegenüber starken chemischen Angriffen aufweisen [27].



**Abbildung 41 : Lärmschutzwand aus Beton [27]**

### **Leichtmetall (Aluminium)**

Es dürfen nur Aluminiumlegierungen verwendet werden, die nach DIN 1725, Teil 1 [60] für statisch beanspruchte Konstruktionen geeignet, mindestens meerwasserbeständig und gut schweißbar sind. Leichtmetall darf mit Beton, Stahl, Kupfer und Kupferlegierungen nicht dauernd in direktem Kontakt stehen, dies ist gegebenenfalls durch geeignete Isolierschichten sicherzustellen. Wandelemente aus Leichtmetall oder Teile davon müssen eine Blechdicke von mindestens 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 einen Korrosionsschutz erhalten [27].



**Abbildung 42 : Lärmschutzwand aus Aluminium [27]**

### **Lärmschutzwände mit gefüllten Körben (Stein, Glasschaum)**

Optisch ansprechenden und wirksamen Lärmschutz bieten Systeme mit Steinen oder Glasschaum gefüllten Stahlkörben [27].



**Abbildung 43 : Lärmschutzwand mit gefüllten Körben [33]**

### **Lärmschutzwände aus Kunststoff**

Kunststoffe müssen mit UV-Lichtschutz und – soweit nicht durchsichtige Teile gefordert werden – mit einer pigmentierten Schutzschicht versehen oder vollständig eingefärbt sein. Diese Systeme spielten allerdings in den letzten Jahren eine sehr untergeordnete Rolle [27].



**Abbildung 44 : Lärmschutzwand aus Kunststoff [27]**

### **Transparente Materialien**

Als transparente Materialien für Lärmschutzelemente kommen Kunststoffe (Acrylglas, Polycarbonat) oder Glas (Einscheibensicherheitsglas, Verbundsicherheitsglas) in Frage [27].



Abbildung 45 : Lärmschutzwand aus transparenten Materialien [40]

## 3.4 Bauliche Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden

### 3.4.1 Allgemeines

Unter baulichen Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden werden all jene Maßnahmen verstanden, die am Immissionsort getätigt werden. Diese umfassen raumplanerische wie auch ingenieurtechnische und architektonische Verbesserungen zur Minderung der Lärmbelastung.

### 3.4.2 Bebauungsform

Die im Bebauungsplan oder in der Bauwidmung festzusetzenden Bebauungsformen führen zu lärmtechnisch unterschiedlichen Gegebenheiten. Bei geschlossener Bauweise wirken parallel zur Straßenachse liegende Gebäude als Schallschirm. Dahinterliegende Bereiche sind umso besser geschützt, je länger und höher die Straßenrandbebauung ist. Durchgehende Öffnungen, auch offene Hofdurchfahrten, sind zu vermeiden. Am vorteilhaftesten ist eine rundum geschlossene Blockbebauung, bei der straßenabgewandte Räume geschützt sind und ruhige Innenhöfe entstehen [5].

### 3.4.3 Anordnung und Stellung der Gebäude am Bauplatz

Durch entsprechende Festsetzung von Baulinien beziehungsweise Baufluchtlinien kann erreicht werden, dass innerhalb eines Baugebietes die zu einer Straße orientierten Bereiche der Grundstücke in einem bestimmten Maß von einer Bebauung freigehalten werden. Gebäude können so angeordnet werden, dass Schallreflexionen durch Vermeidung parallel gegenüberliegender Gebäudemauern weitgehend vermieden werden oder dass sie im Schatten von Schallhindernissen liegen [5].

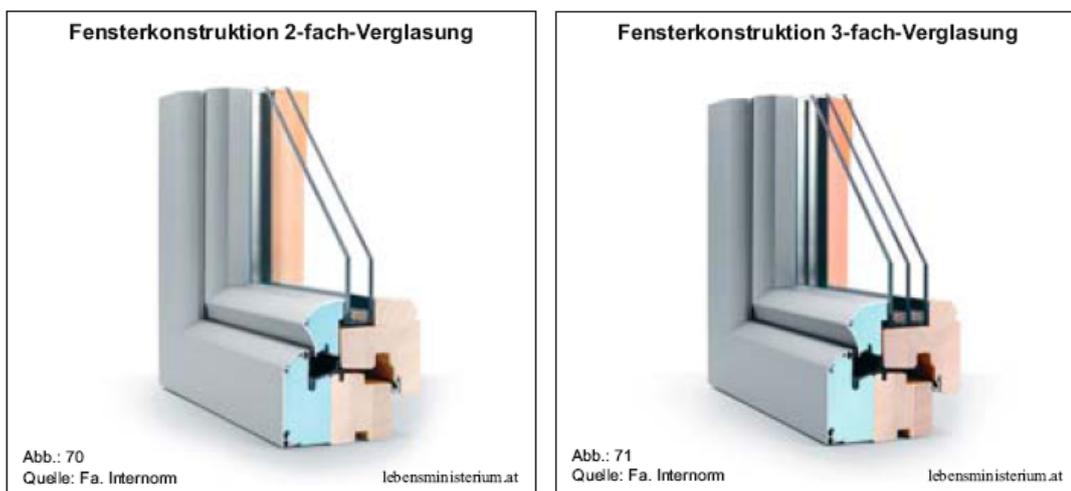
### 3.4.4 Gebäudeform und Grundrissentwurf

Gebäude sollten so geplant werden, dass schutzbedürftige Aufenthaltsbereiche möglichst in quellenabgewandter Lage vorgesehen werden und quellenzugewandt Nebenräume, Aufschließungsbereiche (Stiegenhäuser, Zugänge, ...) und Nassräume angeordnet werden [10].

### 3.4.5 Bauliche Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden

Wenn andere Lärmschutzmaßnahmen nicht ausreichend Schutz vor Lärm bieten, besteht die Möglichkeit, am Gebäude selbst durch eine zweckmäßige bautechnische Ausführung der Wände bzw. der Fassaden und insbesondere nach Art und Qualität der Tür- und Fensterkonstruktionen einen Schutz der Bewohner im Rauminneren sicher zu stellen [10].

Meist dringen Verkehrsgeräusche jedoch durch unzureichend schallgedämmte Gebäudeöffnungen ein. Der lärmdurchlässigste Außenbauteil ist in der Regel das Fenster. Die Differenz zwischen Innen- und Außenlärmpegel lässt sich daher vereinfacht mit der Fensterqualität beschreiben. Bei geschlossenen, fachgerecht eingebauten und instand gehaltenen Isolierglasfenstern liegt die A-bewertete Schallpegeldifferenz zwischen Außen- und Innengeräusch in einer Größenordnung von etwa 30 dB [10].



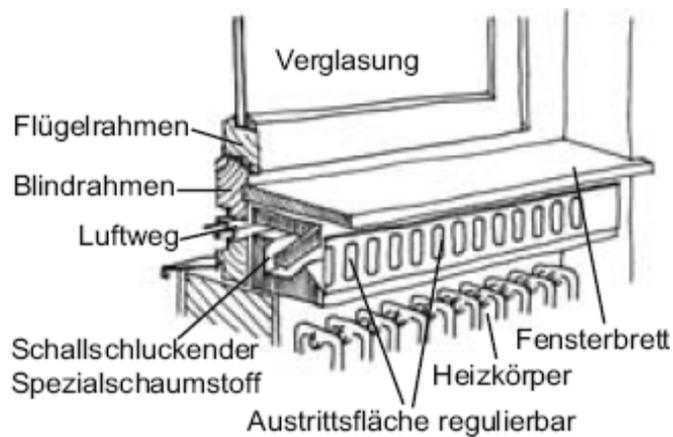
**Abbildung 46 : Fensterkonstruktion mehrfach-Verglasung [10]**

In Anlehnung an die Festlegungen gemäß ÖNORM B 8115, Teil 2 [61], betreffend den Mindestschallschutz von Außenbauteilen von zum Beispiel Wohngebäuden mit Fenstern beziehungsweise Außentüren sind die Kategorieeinteilungen abhängig vom Außenlärmpegel vorzusehen. Bei hohen Außenlärmpegeln ist zu beachten, dass bei Aufbringung von Wärmedämm-Verbund-Systemen, insbesondere in Verbindung mit hohen Fenster-Schalldämm-Maßen eine signifikante Verminderung der Gesamtschalldämmung eintreten kann. Überdies ist zu bedenken, dass infolge der Dämmung des Außenlärms hausinterne Geräusche störend zu Bewusstsein kommen können [10].

Eine Alternative zum Tausch bestehender Fensterkonstruktionen ist die zusätzliche Ausstattung mit einer so genannten "Fenster-Vorsatzschale". Diese Konstruktion fungiert als "Fenster vor dem Fenster" und kombiniert die schalldämmende Wirkung von bestehendem Fenster und Vorsatzschale (siehe Abbildung 47).



**Abbildung 47 : Fenster- Vorsatzschale (Kastenfenster) [10]**



**Abbildung 48 : Fenster mit integrierter Schalldämmlüftung [10]**

Abhängig vom Zustand des bestehenden Fensters können durch zusätzliche Anbringung einer Fenstervorsatzschale Schalldämm-Maße im Bereich von 50 dB und mehr in geschlossenem Zustand bewirkt werden.

Aufgrund der Verkleidung der Fensterlaibung mit absorbierenden Materialien bei fachgerechter Anbringung einer Fenstervorsatzschale wird auch in gekipptem Zustand (inneres und äußeres Fenster gekippt) eine Pegelreduktion von mehr als 20 dB erreicht (Vergleich: Außenpegel zu Innenpegel) [10].

## **4. SYSTEMATISCHE BERECHNUNG DER LÄRMIMMISSIONEN IM NAHBEREICH EINER GEWÄHLTEN STRASSENSITUATION**

Um die unterschiedlichen Wirkungsweisen verschiedener Lärminderungsmaßnahmen vergleichen zu können, wird nachfolgend für einen frei gewählten Straßenabschnitt mit straßennaher Bebauung eine Lärmausbreitungsberechnung vorgenommen.

### **4.1 Ausgangssituation**

Beim gegenständlichen Projekt handelt es sich um ein fiktives Geländemodell durch welches eine Autobahntrasse führt. Grundlage für die Ermittlung der Wirkungsweise der untersuchten Lärminderungsmaßnahmen, lärmindernden Deckschicht und Lärmschutzwand wird eine für einen Autobahnabschnitt realistische Verkehrsbelastung definiert.

#### **4.1.1 Entwicklung eines Geländemodells**

Grob kann das Gelände in zwei Bereiche unterteilt werden, nämlich einen sehr ebenen im Südwesten und einen hügelig bis steilen im Nordosten des Betrachtungsgebietes. Von Norden her rückt ein Bergmassiv Richtung Süden, beschreibt nach dem ersten Drittel des Geländeareals einen Bogen gegen Osten hin und vereinigt sich im südlichen Randbereich mit dem zweiten Hügelmassiv, welches im Süden des Geländemodells entsteht, in einer leichten Talsenke. Die Ausläufer dieses Massivs hin zum ebenen Gelände beschreiben eine leichte S-Form, welche auch als eine wesentliche Rahmenbedingung – im Sinne eines Zwangspunktes – für die Trassierung herangezogen worden ist. Dies vor allem unter dem Aspekt, eine möglichst geringe Zerschneidung und keine unnötigen Massenbewegungen generieren zu müssen.

Südlich des höchsten Punktes des Geländemodells befinden sich zwei Siedlungen, jeweils aus 20 Häusern – zwei Reihen zu je zehn Häusern – bestehend. Die nördliche Siedlung befindet sich etwa 240 Meter von der Zentralachse der Autobahn entfernt im Einschnittsbereich des Querschnittes, die südliche etwa in 120 Meter Entfernung und im Dammbereich des Autobahnquerschnittes. Eine allgemeine Wohnnutzung dieser Gebäude wird als Widmung im Modell angenommen.

Die Lage der Siedlung in einem Anschnittsbereich der Trasse ermöglicht es, einen zusätzlichen Vergleich der Wirkung der Lärmschutzmaßnahmen in Dammbereich beziehungsweise Einschnittsbereichen zu untersuchen.

Abbildung 49 zeigt das digitalisierte Geländemodell, die Zentralachse der Autobahntrasse (magenta) sowie die Lage der Siedlungen (schwarz). Sehr anschaulich kann aufgrund der unterschiedlichen Einfärbung der Höhenschichten der Verlauf des Geländes von sehr eben (dunkelblau) bis zur höchsten Erhebung (dunkelrot) nachvollzogen werden.

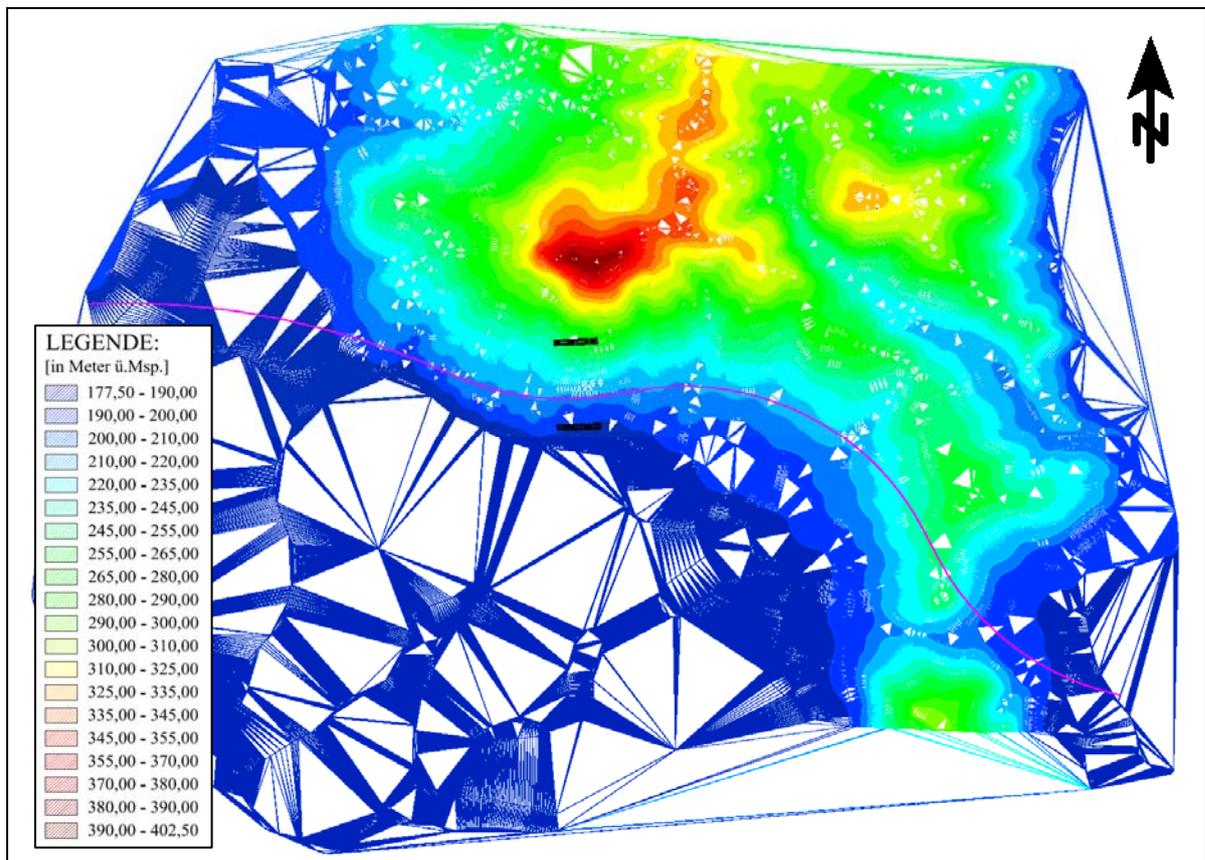


Abbildung 49 : Fiktives Geländemodell mit Siedlung und Trassenachse

#### 4.1.2 Trassierung der Straßenachse

Grundsätzliche Prämisse der Trassenfindung ist es, vorhandene Geländegegebenheiten möglichst in den Verlauf der Trassenführung einzubauen, um die Eingriffe in die Natur möglichst zu minimieren.

So spiegelt sich der von der Geländeerhöhung beschriebene S-Bogen auch in der Trassenführung im Grundriss wider.

##### 4.1.2.1 Trassierung im Grundriss

Die maßgebende Funktion der projektierten Straße ist jene einer Fernstraße, womit sich eine funktionelle Bedeutung der Klasse I ergibt. Für die Klassifikation des Verkehrsweges als Autobahn ergibt sich gemäß RVS 03.03.23 [42] folgende untere Größe für den Kreisbogenradius und die folgende obere Größe der Längsneigung:

- Mindestkreisbogenradius  $R_{\min} = 400 \text{ m}$ ,
- Maximale Längsneigung  $s_{\max} = 4 \%$ .

Aufgrund der bei der Trassierung gewählten Mindestwerte für die Entwurfselemente der Lage

- Mindestkreisbogenradius  $R_{\min} = 800 \text{ m}$ ,
- Mindestlänge für Übergangsbögen  $L_{\min} = 72 \text{ m}$

ergibt sich gemäß RVS 03.03.23 [42] eine Projektierungsgeschwindigkeit von  $v_p = 130 \text{ km/h}$  für den gesamten Trassenverlauf.

Aufgrund der natürlichen Gegebenheit der Hangfußform ist in diesem Bereich ein Kurvenradius von  $R = 1.200 \text{ m}$  gewählt worden.

Den Beginn der Trasse führt eine Rechtskurve mit einem Radius von  $R = 1.200 \text{ m}$ , der über eine Wendeklotoide an die zuvor beschriebene S- Kurve anschließt. Zur Findung der Übergangsbögen ist eine generelle Klotoidenlänge von  $L = 133,33 \text{ m}$  gewählt worden. Abgeschlossen wird die Trasse durch einen etwas flacheren Linksbogen mit einem Radius von  $R = 3.500 \text{ m}$ .

Die Kilometrierung beginnt mit 0,0 Kilometer am südöstlichen Eckpunkt des Planes und folgt von Ost nach West bis zur Endstation von 5,2+38,041 km.

Abbildung 50 zeigt die Achsdatei der Zentralachse der Autobahn.

```

# ACHSE 0
*****
*!NR TYP EL.NUMM. ANF.STATION ANF.RADIUS RECHTS ANF.PUNKT HOCH ANF.RICHTWINKEL 1 *
*! A LÄNGE ENDRADIUS RECHTS ENDPUNKT HOCH WINKEL DIF 2 *
*! ENDSTATION RECHTS TAN.SCHNITT HOCH END.RICHTWINKEL 3 *
*! RECHTS ZENT.PUNKT HOCH TANGENTE1 4 *
*! RECHTS MITTELPUNKT HOCH TANGENTE2 5 *
*****
1 KREISBOGEN 1 0.000 +1200.000 83347.997 39261.987 313.1058g 1
999.988 +1200.000 82558.902 39828.344 53.0510g 2
999.988 82828.122 39370.549 366.1568g 3
83593.293 40436.649 531.089 4
82893.586 39461.759 531.089 5
*
2 ÜBERGANGSBOGEN 1 999.988 +1200.000 82558.902 39828.344 366.1567g 1
399.998 133.332 UNENDLICH 82495.624 39945.683 3.5367g 2
1133.320 82536.366 39866.666 369.6935g 3
83593.293 40436.649 44.457 4
88.902 5
*
3 ÜBERGANGSBOGEN 2 1133.320 UNENDLICH 82495.624 39945.683 369.6935g 1
399.998 133.332 -1200.000 82432.346 40063.022 396.4633g 2
1266.652 82454.882 40024.700 366.1567g 3
81397.955 39454.717 88.902 4
44.457 5
*
4 KREISBOGEN 2 1266.652 -1200.000 82432.346 40063.022 366.1567g 1
1383.508 -1200.000 81261.766 40646.964 326.6026g 2
2650.160 82036.873 40735.503 292.7594g 3
81397.955 39454.717 780.148 4
81933.622 40528.524 780.148 5
*
5 ÜBERGANGSBOGEN 3 2650.160 -1200.000 81261.766 40646.964 292.7598g 1
400.005 133.337 UNENDLICH 81129.960 40626.940 396.4631g 2
2783.496 81217.595 40641.919 289.2229g 3
81397.947 39454.716 44.459 4
88.905 5
*
6 ÜBERGANGSBOGEN 4 2783.496 UNENDLICH 81129.960 40626.940 289.2224g 1
400.004 133.336 +1200.000 80998.155 40606.915 3.5368g 2
2916.832 81042.326 40611.961 292.7592g 3
80861.964 41799.162 88.905 4
44.458 5
*
7 KREISBOGEN 3 2916.832 +1200.000 80998.155 40606.915 292.7594g 1
554.526 +1200.000 80452.328 40671.245 29.4185g 2
3471.358 80717.675 40574.876 322.1779g 3
80861.966 41799.162 282.304 4
80721.509 40607.410 282.304 5
*
8 ÜBERGANGSBOGEN 5 3471.358 +1200.000 80452.328 40671.245 322.1778g 1
400.012 133.341 UNENDLICH 80328.785 40721.366 3.5370g 2
3604.699 80410.539 40686.422 325.7148g 3
80861.965 41799.162 44.460 4
88.908 5
*
9 ÜBERGANGSBOGEN 6 3604.699 UNENDLICH 80328.785 40721.366 325.7148g 1
683.151 133.341 -3500.000 80205.846 40772.993 398.7873g 2
3738.040 80247.043 40756.305 324.5021g 3
78891.786 37529.038 88.896 4
44.449 5
*
10 KREISBOGEN 4 3738.040 -3500.006 80205.846 40772.993 324.5021g 1
1500.001 -3500.006 78738.906 41025.698 372.7163g 2
5238.041 79499.874 41058.968 297.2184g 3
78891.782 37529.033 761.695 4
79485.966 40978.234 761.695 5
*
* Achslänge gesamt: 5238.041
* Krümmung (Gon/Km): 169.741
*

```

**Abbildung 50 : Achsdatei der Autobahnzentralachse**

In Abbildung 51 ist die Trassenführung im Lageplan dargestellt.

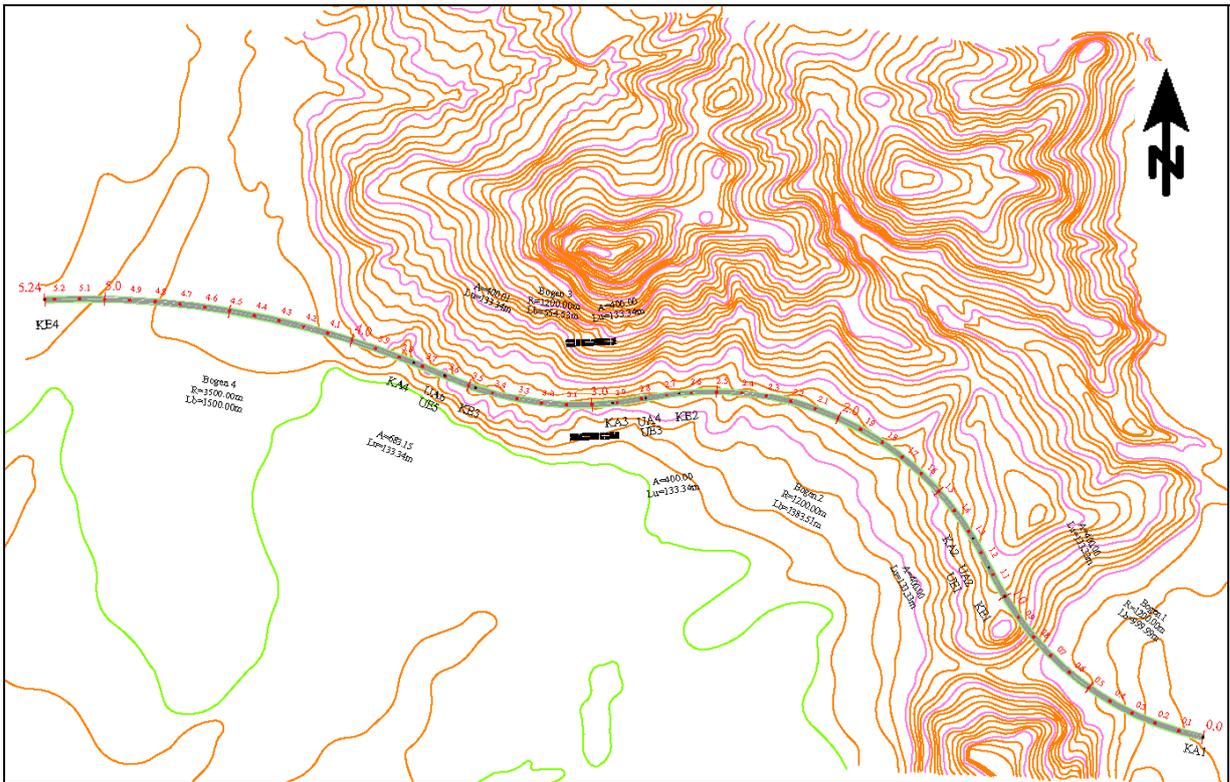


Abbildung 51 : Lageplan und Trassenführung

#### 4.1.2.2 Trassierung im Aufriss

Gemäß RVS 03.03.23 [42] gelten für eine Trasse mit einer Projektierungsgeschwindigkeit  $v_p = 130 \text{ km/h}$  folgende Mindestwerte für Entwurfs-elemente der Höhe

- maximale Längsneigung  $s_{\max} = 4 \%$ ,
- Mindestkuppenradius  $R_{K\min} = 15.000 \text{ m}$
- Mindestwannenradius  $R_{W\min} = 4.500 \text{ m}$

Bei der Wahl der Ausrundungsradien im Längenschnitt sind ausschließlich die durch die Richtlinie empfohlenen Mindestradien gewählt worden.

Einen möglichst an die natürlichen Gegebenheiten angepassten Gradientenverlauf zu finden, um nur wenig in die Natur eingreifen zu müssen, und dabei einen guten Massenausgleich zu gewährleisten, stellen die Grundinteressen bei der Gradientenfindung dar.

Zu Beginn fällt die Trasse mit einem Gefälle von  $s = 0,500 \%$  ab, um nach 245 Metern (Tangentenschnittpunkt TS 1) mit einer Steigung von  $s = 4,000 \%$  die südlichsten Ausläufer der nördlichen Erhebung zu durchschneiden. Aufgrund der durch die Richtlinie vorgegebenen maximalen Trassierungselemente kann in diesem Bereich keine andere Möglichkeit als dieser – teilweise sehr Tiefe – Einschnitt in Betracht gezogen werden, ohne eine grundlegende Trassenveränderung der Lage nach – welche aufgrund der geographischen Begebenheiten wie auch der Elementvorgaben nicht möglich ist –

hervorzurufen. Dieser Bereich ist der einzige mit einer größeren Massenbewegung, die teilweise in zwei folgenden Dammbereichen wieder Verwendung finden kann.

Die restlichen Bereiche der Trasse sind bestmöglich an die gegebene Situation angelegt und weisen – bis auf den letzten Bereich der Trasse – ein relativ stetiges Gefälle auf (siehe dazu Abbildung 52 und Abbildung 53).

#	ACHSE 0	STAT	KP HÖHE	R	LÄN GEF	SA	SE
*!		0.000	185.251	0.000	-0.500	0.000	0.000
		245.000	184.026	4500.000	4.000	143.782	346.138
		1337.937	227.743	15000.000	-2.000	888.341	1787.802
		2175.000	211.002	4500.000	-0.500	2141.262	2208.744
		3550.000	204.127	15000.000	-2.500	3400.036	3699.919
		4170.000	188.627	4500.000	-0.500	4125.024	4214.989
		4970.390	184.625	4500.000	1.500	4925.392	5015.384
		5238.041	188.640	0.000	0.000	5238.041	5238.041
*							

Abbildung 52 : Gradientenparameter

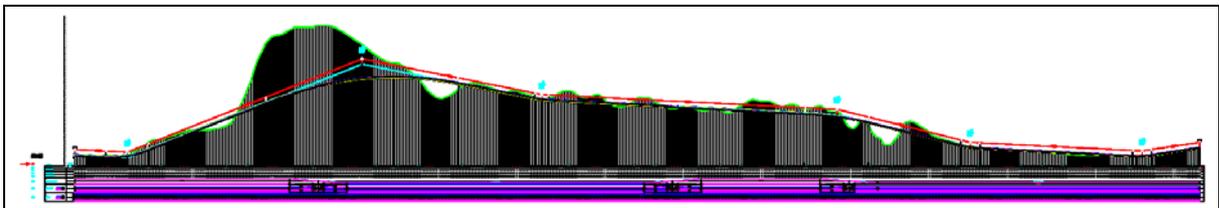


Abbildung 53 : Längenschnitt

#### 4.1.2.3 Regelquerschnitt

##### Querneigung

Gemäß RVS O3.03.23 [42] gelten für eine Trasse mit einer Projektierungsgeschwindigkeit  $v_p = 130 \text{ km/h}$  folgende Mindestwerte für Entwurfselemente des Querschnitts

- maximale Querneigung  $q_{\max} = 6,0 \%$ ,
- maximale Querneigung  $q_{\max} = 4,5 \%$  bei einem Kurvenradius von  $R = 1.200 \text{ m}$
- maximale Querneigung  $q_{\max} = 2,5 \%$  bei einem Kurvenradius von  $R \geq 2.000 \text{ m}$

Für die Trassierung ist der kleinere Wert – in diesem Falle also  $q_{\max} = 4,5 \%$  – ausschlaggebend.

Bei der Projektierung ist für die Kurvenradien eine Querneigung von  $q = 4,5 \%$ , für den letzten Linksbogen ( $R = 3.500 \text{ m}$ ) eine Neigung von  $q = 2,5 \%$  gewählt worden.

##### Verkehrs- und Lichtraum

Gemäß RVS O3.03.31 [43] sind folgende Abmessungen für den Regelquerschnitt gewählt worden:

- zwei Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn mit einer Breite von jeweils  $3,75 \text{ m}$
- ein Abstellstreifen je Richtungsfahrbahn mit einer Breite von  $2,50 \text{ m}$

- ein befestigter innerer Seitenstreifen je Richtungsfahrbahn mit einer Breite von 0,75 m
- Mittelstreifen mit einer Breite von 3,00 m
- die Breite der seitlichen Bankette ist mit 1,75 m angenommen, da in einigen Bereichen mit einer Lärmschutzwand zu rechnen sein wird.

Somit ergibt sich eine Kronenbreite von 28,00 m.

Der Regelquerschnitt ist in Abbildung 54 dargestellt.

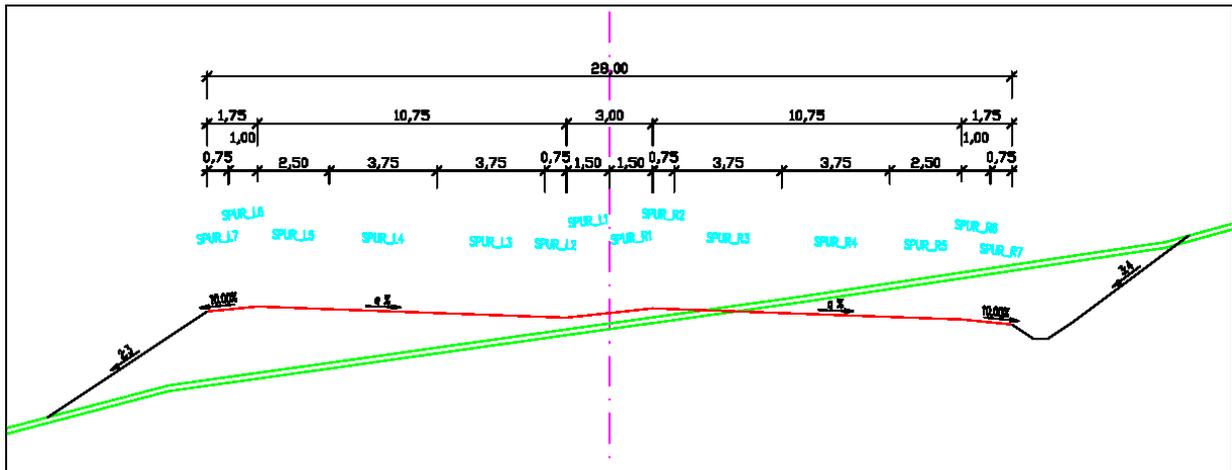


Abbildung 54 : Regelquerschnitt

#### 4.1.2.4 Begrenzung des Berechnungsgebietes

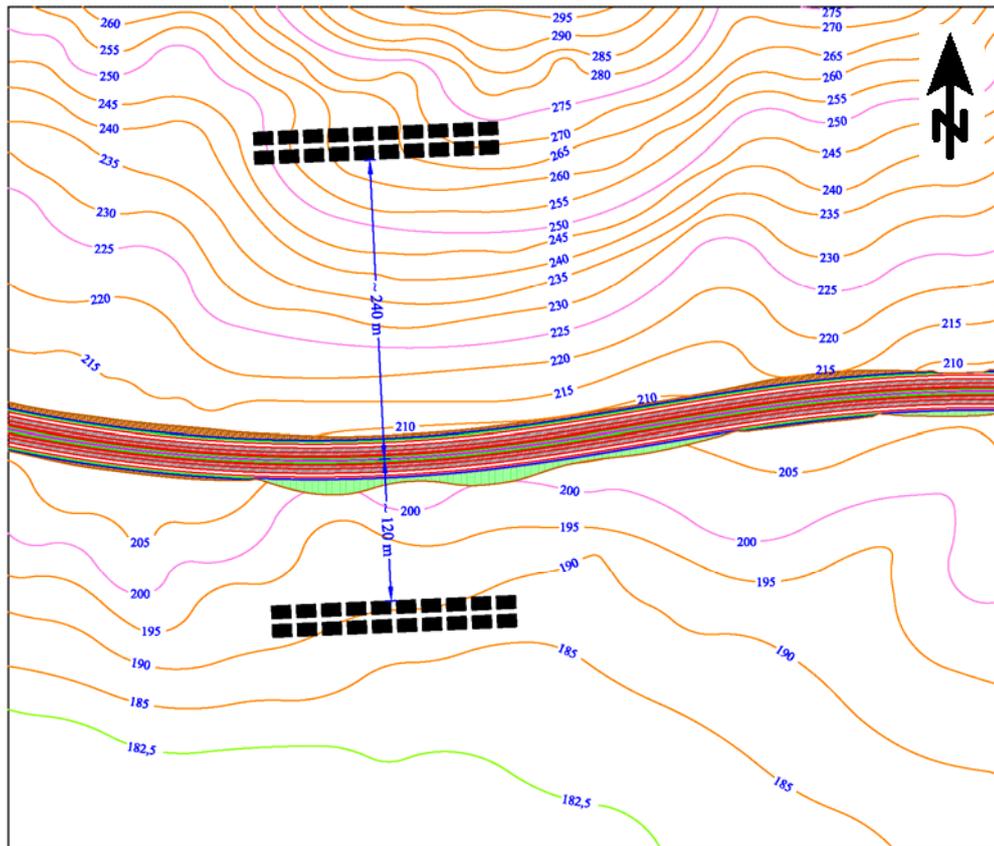
Aufgrund des Datenvolumens und der für die Beantwortung der Forschungsfrage nicht notwendigen Gesamtgröße des Geländemodells, wird ein gesondertes Berechnungsgebiet aus diesem herausgelöst. Dieses Rechnungsgebiet umfasst die nähere Umgebung der beiden Siedlungen und den für die Forschungsfrage relevanten Bereich der Trasse von km 2,5+00,000 bis km 3,3+00,000.

Eine Darstellung des gewählten Gebietes findet sich in Abbildung 55.

Die betrachteten Siedlungen befinden sich nördlich und südlich der Autobahntrasse, wobei die nördliche einen Abstand von etwa 240 Metern, die südliche einen von etwa 120 Metern zur Zentralachse der Autobahn aufweist.

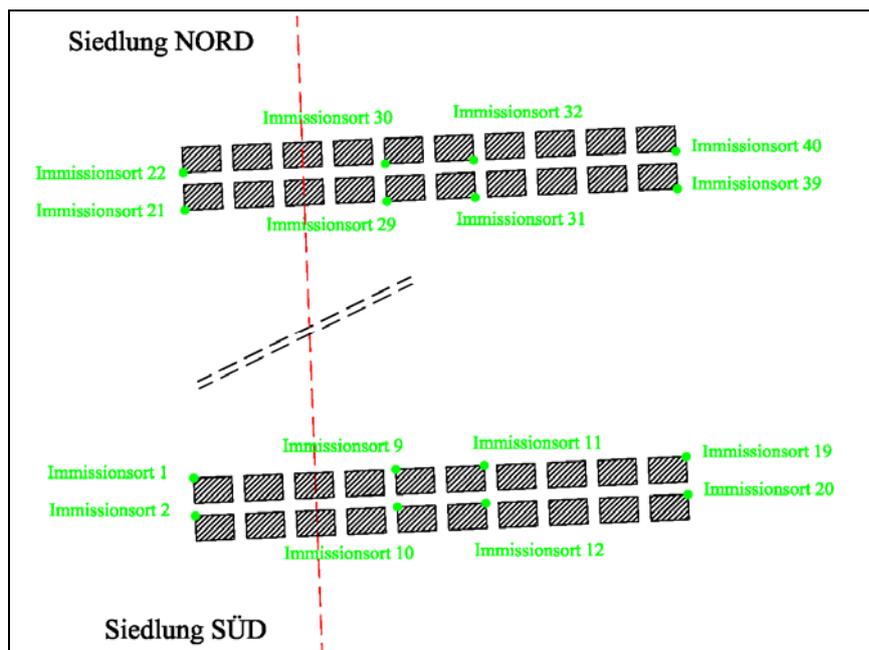
Beide Siedlungen bestehen aus jeweils 20 Häusern, deren Widmung als allgemeines Wohnen angenommen wird, welche zu zwei Reihen à zehn Häusern aufgeteilt sind. Die Nummerierung erfolgte beginnend am westlichen, der Trasse zugewandten Haus der südlichen Siedlung (Nummer 1) alternierend bis zu Nummer 20 – das östlichste Haus der äußeren Reihe. Die nördliche Siedlung ist nach dem gleichen System nummeriert, beginnt jedoch mit 21 und endet mit 40.

Die verschiedenen zur genaueren Betrachtung heranzuziehenden Immissionsorte sind nach den ihnen zugewiesenen Häusern nummeriert (siehe dazu Abbildung 56).



**Abbildung 55 : Lageplan Berechnungsgebiet**

Abbildung 56 zeigt die beiden Siedlungsgebiete nördlich und südlich der Autobahntrasse, die Situierung der ausgewählten Immissionsorte für eine genauere Betrachtung der Ergebnisse sowie die Schnittlinie, welche die jeweils zu erstellenden Schnittlärmkarten markiert.



**Abbildung 56 : Siedlungsgebiet und Immissionsorte**

### 4.1.3 Verkehrsbelastung

Als Verkehrsbelastung für das Untersuchungsgebiet werden die Werte der automatischen Zählstelle an der Inntalautobahn bei Kufstein in Fahrtrichtung Innsbruck aus dem Jahre 2006 herangezogen; der hier gezählte JDTV beträgt 21.957 Kfz/24h; der LKW- Anteil wird mit 3.980 LKW/24h beziffert, was einem Schwerverkehrsanteil  $p_s$  von ungefähr 18 Prozent entspricht.

## 4.2 Eingangsparmeter für die Lärmberechnung

Mittels des zuvor beschriebenen Geländemodells sollen nun im Rahmen dieser Diplomarbeit verschiedene Deckschichttypen und bauliche Lärmschutzmaßnahmen auf deren Lärminderungspotenziale hin untersucht werden. Die dazu erforderlichen Berechnungen erfolgen unter Zuhilfenahme des Programms „SoundPLAN 6.4“ der Firma „Braunstein + Berndt GmbH“ gemäß RVS 04.02.11 [5].

In der Folge werden nun die für die Berechnung nach RVS 04.02.11 [5] erforderlichen Grundlagen erläutert.

### 4.2.1 Basiskennwerte zur Ermittlung der Schallpegel

Der Immissionsschallpegel wird durch den A- bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel am maßgebenden Immissionsort beschrieben, ohne hierbei subjektive Lärmempfindungen zu berücksichtigen, weshalb für den Straßenverkehrslärm der Beurteilungspegel gleich dem äquivalenten Dauerschallpegel ist.

Die entsprechend der Richtlinie 2002/49/EG [21] festgelegten Lärmindizes

- $L_{\text{day}}$  Tag-Lärmindex für die Belastung während des Tages [dB]
- $L_{\text{evening}}$  Abend-Lärmindex für die Belastung während des Abends [dB]
- $L_{\text{night}}$  Nacht-Lärmindex für die Belastung während 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 und ausgewiesen.

Zur Beurteilung gemäß der Richtlinie 2002/49/EG [21] sind heranzuziehen:

- $L_{\text{den}}$  Tag-Abend-Nacht-Lärmindex für die allgemeine Belastung [dB]
- $L_{\text{night}}$  Nacht-Lärmindex für die Belastung während der Nacht [dB]

Der Lärmindex  $L_{\text{den}}$  errechnet sich aus

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

Der Tag-Lärmindex entspricht dem energieäquivalenten Dauerschallpegel für den Tag (6 bis 22 Uhr, wobei die acht am stärksten belasteten, aufeinanderfolgenden Stunden zur Bestimmung herangezogen werden).

## 4.2.2 Maßgebende Verkehrsstärke

Die Ermittlung der maßgebenden Verkehrsstärken hat grundsätzlich durch eine Verkehrsuntersuchung zu erfolgen, die von der Analyse des bestehenden Verkehrsgeschehens ausgeht.

Die maßgebenden stündlichen Verkehrsstärken sind als Mittelwerte eines gesamten Jahres für die verschiedenen Beurteilungszeiträume zu ermitteln. Prinzipiell sind die Ergebnisse der automatischen Dauerzählstellen, der Fünf-Jahres-Verkehrszählungen (ECE-Zählungen) und/oder detaillierte Verkehrsuntersuchungen Grundlage für die Berechnung. Nur wenn keine genaueren Daten vorliegen oder mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, sind die für Verkehrslärberechnungen maßgebenden stündlichen Verkehrsstärken an Straßen näherungsweise nach RVS 04.02.11 [5] wie folgt abzuschätzen:

$$MSV_L = k_L * JDTV \text{ [dB]} \quad \text{Gleichung 9}$$

mit  $MSV_L$  ... maßgebende stündliche Verkehrsstärke für Verkehrslärberechnungen [Kfz/h]

$k_L$  ... Bemessungsfaktor für Verkehrslärberechnungen gemäß Tabelle 4

JDTV ... jährliche, durchschnittliche, tägliche Verkehrsstärke [Kfz/24h]

**Tabelle 4: Bemessungsfaktoren für Verkehrslärberechnungen [5]**

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
Straße mit überwiegend lokalem Verkehr	0,064	0,029	0,010
Hauptstraße 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 Tabelle 5 und Tabelle 6 angegebenen Richtwerte als grobe Abschätzungen für den maßgebenden Schwerverkehrsanteil  $p_s$  und den Anteil leichter und schwerer LKW am Schwerverkehr heranzuziehen.

**Tabelle 5: Richtwerte Schwerverkehrsanteil für Verkehrslärberechnungen [5]**

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 %
Straße mit überwiegend lokalem Verkehr	10 %	10 %	10 %
Hauptstraße 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 [5]**

Straßentyp	Anteil am Schwerverkehr	
	leichte LKW	schwere LKW
Straße mit überwiegend überregionalem Verkehr	25 %	75 %
Straße mit überwiegend lokalem Verkehr	90 %	10 %
Hauptstraße innerorts	60 %	40 %
Sammel- und Anliegerstraßen innerorts	95 %	5 %

Liegen keine Angaben über lärmarme Fahrzeuge vor und können diese auch nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden, so ist deren Anteil gemäß Tabelle 7 anzunehmen.

**Tabelle 7: Anteil lärmarmen Lkw für Verkehrslärberechnungen [5]**

LKW-Typ	Anteil am Schwerverkehr	
	Standard- LKW	lärmarme LKW
leichte LKW	50 %	50 %
schwere LKW	10 %	90 %

### 4.2.3 Berechnung des Emissionsschallpegels

Die Berechnung der Schallemission ist die Grundlage für die Berechnung des Immissionschallpegels. Sie wird durch den vom Verkehr auf einer langen und geraden Straße verursachten A- bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel in 1m Abstand von der Emissionslinie beschrieben.

Dieser ist durch die 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  $M_{LKWl, lärmarm}$
- Anzahl der schweren Standard- LKW pro Stunde  $M_{LKWs}$
- Anzahl der lärmarmen schweren LKW pro Stunde  $M_{LKWs, lärmarm}$
- Geschwindigkeit der LKW  $V_{LKW}$  [km/h]

und die straßenbezogenen Parameter

- Fahrbahndecke
- Längsneigung

bestimmt.

Die Emission wird für jede Emissionslinie getrennt ermittelt. Der energieäquivalente Dauerschallpegel ergibt sich dann aus Gleichung 10.

$$L_{A,eq}^1 = 10 \lg \left( 10^{\frac{L_{eq,PKW}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,LKWI}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,LKWI,lärmarm}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,LKWs}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq,LKWs,lärmarm}}{10}} \right) \text{ [dB]}$$

Gleichung 10

mit  $L_{A,eq}^1$  ... A- bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel in 1m Entfernung von der Emissionslinie

$L_{eq,PKW}$  ... durch PKW erzeugter Emissionsschallpegel

$L_{eq,LKWI}$  ... durch leichten Standard- LKW erzeugter Emissionsschallpegel

$L_{eq,LKWI,lärmarm}$  ... durch leichten, lärmarmen LKW erzeugter Emissionsschallpegel

$L_{eq,LKWs}$  ... durch schweren Standard- LKW erzeugter Emissionsschallpegel

$L_{eq,LKWs,lärmarm}$  ... durch schweren, lärmarmen LKW erzeugter Emissionsschallpegel

Die unterschiedlichen Emissionsschallpegel werden nach den folgenden Gleichungen berechnet:

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

Gleichung 11

mit  $L_{eq,PKW}$  ... durch PKW erzeugter Emissionsschallpegel

$L_{PKW,F}$  ... Basiswert für die Fahrzeugemission; PKW

$K_{V,PKW,F}$  ... Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; PKW

$K_{L,PKW}$  ... Kennwert für den Einfluss der Längsneigung; PKW

$M_{PKW}$  ... Anzahl der PKW pro Stunde

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

Gleichung 12

mit  $L_{eq,LKWI}$  ... durch leichten Standard- LKW erzeugter Emissionsschallpegel

$L_{LKWI,F}$  ... Basiswert für die Fahrzeugemission; leichte LKW

$K_{V,LKWI,F}$  ... Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; leichte LKW

$K_{L,LKW}$  ... Kennwert für den Einfluss der Längsneigung; LKW

$M_{LKWI}$  ... Anzahl der leichten Standard- LKW pro Stunde

$$L_{eq,LKWI,lärmarm} = L_{LKWI,lärmarm,F} + K_{V,LKWI,lärmarm,F} + K_{L,LKW} + 10 \lg M_{LKWI,lärmarm} \text{ [dB]}$$

Gleichung 13

mit  $L_{eq,LKWI,lärmarm}$  ... durch leichten, lärmarmen LKW erzeugter Emissionsschallpegel

$L_{LKWI,lärmarm,F}$  ... Basiswert für die Fahrzeugemission; leichte, lärmarme LKW

$K_{V,LKWI,lärmarm,F}$  ... Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; leichte, lärmarme LKW

$K_{L,LKW}$  ... Kennwert für den Einfluss der Längsneigung; LKW

$M_{LKWI,lärmarm}$  ... Anzahl der leichten, lärmarmen LKW pro Stunde

$$L_{eq,LKWs} = L_{LKWs,F} + K_{V,LKWs,F} + K_{L,LKW} + 10 \lg M_{LKWs} \text{ [dB]}$$

Gleichung 14

mit  $L_{eq,LKWs}$  ... durch schweren Standard- LKW erzeugter Emissionsschallpegel

$L_{LKWs,F}$  ... Basiswert für die Fahrzeugemission; schwere LKW

$K_{V,LKWs,F}$  ... Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; schwere LKW

$K_{L,LKW}$  ... Kennwert für den Einfluss der Längsneigung; LKW

$M_{LKWs}$  ... Anzahl der schweren Standard- LKW pro Stunde

$$L_{eq,LKWs,lärmarm} = L_{LKWs,lärmarm,F} + K_{V,LKWs,lärmarm,F} + K_{L,LKW} + 10 \lg M_{LKWs,lärmarm} \quad [\text{dB}]$$

Gleichung 15

mit  $L_{eq,LKWs,lärmarm}$  ... durch schweren, lärmarmen LKW erzeugter Emissionsschallpegel  
 $L_{LKWs,lärmarm,F}$  ... Basiswert für die Fahrzeugemission; schwere, lärmarme LKW  
 $K_{V,LKWs,lärmarm,F}$  ... Kennwert für den Einfluss der Geschwindigkeit; schwere lärmarme LKW  
 $K_{L,LKW}$  ... Kennwert für den Einfluss der Längsneigung; LKW  
 $M_{LKWs,lärmarm}$  ... Anzahl der schweren, lärmarmen LKW pro Stunde

Die Basiskennwerte  $L_{PKW,F}$ ,  $L_{LKWI,F}$ ,  $L_{LKWI,lärmarm,F}$ ,  $L_{LKWs,F}$  und  $L_{LKWs,lärmarm,F}$  sind Tabelle 8, die Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit  $K_{V,PKW,F}$ ,  $K_{V,LKW,F}$  und  $K_{V,LKWlärmarm,F}$  sind der Tabelle 9, die Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung der Tabelle 10 und Tabelle 11 sowie der Abbildung 57 zu entnehmen.

**Tabelle 8: Basiswert für die Fahrzeugemission [5] <sup>1</sup>**

Fahrbahndecke	$L_{PKW,F}$ [dB]	$L_{LKWI,F}$ [dB]	$L_{LKWI,lärmarm,F}$ [dB]	$L_{LKWs,F}$ [dB]	$L_{LKWs,lärmarm,F}$ [dB]
Asphaltbeton	47	54	52	59	56
Beton	48	55	53	60	57
Drainasphalt	46	51	49	56	53

**Tabelle 9: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit [5]**

Fahrbahndecke	$K_{V,PKW,F}$ [dB]	$K_{V,LKW,F}$ [dB]	$L_{V,LKWlärmarm,F}$ [dB]
Asphaltbeton	$26,2 * \lg(V/50)$	$15,0 * \lg(V/50)$	$24,8 * \lg(V/50)$
Beton	$30,5 * \lg(V/50)$	$18,0 * \lg(V/50)$	$27,8 * \lg(V/50)$
Drainasphalt	$23,6 * \lg(V/50)$	$10,0 * \lg(V/50)$	$19,8 * \lg(V/50)$

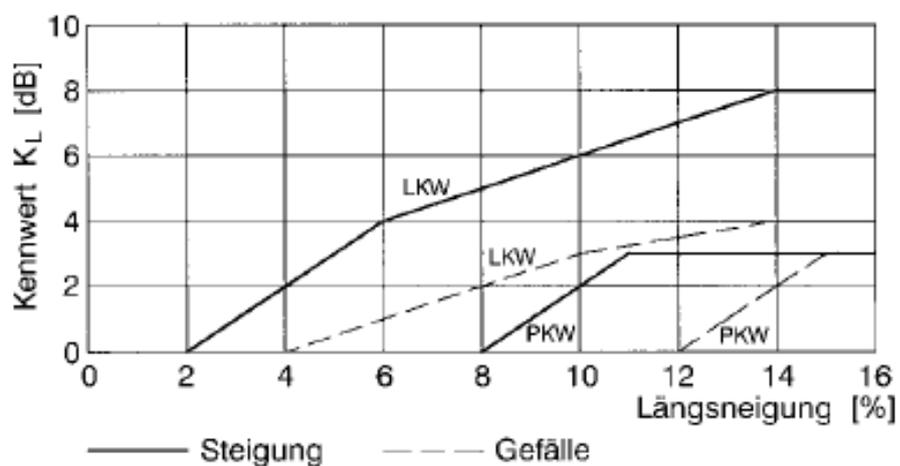
<sup>1</sup> In der aktuellen Version der RVS 04.02.11 (04/2008) sind diesen drei Fahrbahndeckschichttypen noch weitere drei hinzugefügt. Da jedoch die hier verwendeten Fahrbahndeckschichttypen die Extremwerte – Betondeckschicht als lauteste Variante, Drainasphalt als leiseste – und einen Mittelwert – herkömmlicher Asphaltbeton – repräsentieren, sind diese Fahrbahndeckschichttypen als ausreichend für die Modellrechnung angenommen worden.

**Tabelle 10: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei PKW [5]**

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 11: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei LKW [5]**

Längsneigung [%]	$K_{L,LKW}$ [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 57 : Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung [5]**

#### 4.2.4 Berechnung des Immissionsschallpegels

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

Die Berechnung des Immissionsschallpegels in Abschnitten liefert in der Regel genauere Werte als eine vereinfachte Berechnung für die lange, gerade Straße. Bei dieser abschnittswisen Betrachtung wird die Straße in Winkelsektoren von maximal  $\Phi = 9^\circ$  oder kleiner, falls unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen dies erfordern, eingeteilt.

Der Immissionsschallpegel eines Abschnittes errechnet sich gemäß Gleichung 16 zu

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

Gleichung 16

- mit
- $L_{A,eq}$  ... Immissionsschallpegel [dB]
  - $L_{A,eq}^1$  ... Emissionsschallpegel [dB]
  - $\Phi$  ... Winkel des betrachteten Sektors [°]
  - $\Delta L_d$  ... Abstandsmaß [dB]
  - $\Delta L_a$  ... Luftabsorptionsmaß [dB]
  - $\Delta L_v$  ... Vegetationsdämpfungsmaß [dB]
  - $\Delta L_b$  ... Bodendämpfungsmaß [dB]
  - $\Delta L_s$  ... Schirmmaß [dB]
  - $\Delta L_{rx}$  ... Flächenreflexionsmaß [dB]

Die am Immissionsort auftretenden Schallanteile werden zum Gesamtschallpegel energetisch addiert (siehe Gleichung 17).

$$L_{A,eq,ges} = 10 \lg \sum 10^{L_{A,eq} / 10} \text{ [dB]}$$

Gleichung 17

- mit
- $L_{A,eq,ges}$  ... Gesamtimmissionsschallpegel [dB]
  - $L_{A,eq}$  ... Immissionsschallpegel [dB]

In der Richtlinie RVS 04.02.11 [5] werden diese Werte für ein typisches Verkehrslärmspektrum eingesetzt. Dieses ist in Tabelle 12 A- bewertet und auf A- bewerteten Schallpegel 0 dB normiert angegeben. Es wird empfohlen diese Oktavbandanalyse einzusetzen, wenn Detailuntersuchungen in Abhängigkeit von der Frequenz durchgeführt werden sollen beziehungsweise ein Rechenprogramm eingesetzt wird.

**Tabelle 12: Auf 0 dB normiertes Spektrum für Verkehrslärm (A- bewertet) [5]**

Oktavband [Hz]	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000
[dB]	-18	-14	-10	-7	-4	-6	-11

## 4.3 Lärmimmissionsberechnung mittels SoundPLAN

Bei der Lärmberechnung mittels des Softwarepakets SoundPLAN [41] werden die Lärmindizes  $L_d$  und  $L_n$  verwendet. Hierbei wird  $L_d$  als energieäquivalenter Dauerschallpegel für den Beurteilungszeitraum Tag und Abend (6 bis 22 Uhr) – und fasst demnach die beiden Lärmindizes  $L_{day}$  und  $L_{evening}$  nach RVS 04.02.11 [5] zusammen – bezeichnet,  $L_n$  entspricht dem Index  $L_{night}$  für den Beurteilungszeitraum Nacht (22 bis 6 Uhr) nach RVS 04.02.11 [5].

### 4.3.1 Maßgebliche Verkehrsstärken für den gegebenen Querschnitt

Die für die weiteren Berechnungen erforderliche maßgebliche stündliche Verkehrsstärke wird nach Gleichung 16 berechnet. Als Eingangsparameter werden ein JDTV von 21.957 Kfz/24h und eine LKW-Belastung von 3.980 LKW/24h, was einem Schwerverkehrsanteil von  $p_s = 18,12\%$  entspricht, für jede der beiden Richtungsfahrbahnen gewählt.

Gemäß Tabelle 6 und Tabelle 7 wird eine Verteilung zwischen leichten und schweren LKW mit 25% leichte zu 75% schwere LKW angenommen, jene zwischen Standard- und lärmarmen LKW mit 50% zu 50% für leichte LKW sowie 10% Standard- zu 90% lärmarm bei schweren LKW.

Somit ergibt sich die in Tabelle 13 dargestellte Verkehrsbelastung nach Fahrzeugkategorie aufgegliedert.

**Tabelle 13: Verkehrsbelastung nach Fahrzeugkategorie gegliedert für den gesamten Querschnitt (beide Richtungsfahrbahnen)**

PKW	LKW			
	leichte LKW		schwere LKW	
	Standard	lärmarm	Standard	lärmarm
[PKW/24h]	[LKW/24h]	[LKW/24h]	[LKW/24h]	[LKW/24h]
35.954	995	995	597	5.373

Gemäß der Tabelle 4 ergeben sich die Bemessungsfaktoren  $k_L$  für die unterschiedlichen Beurteilungszeiträume für eine Straße mit überwiegend überregionalem Verkehr zu 0,060 sowie 0,036 und 0,014. Da in der Berechnung nicht zwischen Tag, Abend und Nacht sondern nur zwischen Tag und Nacht unterschieden wird, werden die beiden Faktoren für Tag und Abend (0,060 und 0,036) zu einem Faktor Tag (0,060+0,036=0,096) zusammengerechnet.

Dementsprechend ergeben sich die in Tabelle 14 ausgewiesenen Werte für die maßgebenden stündlichen Verkehrsbelastungen.

**Tabelle 14: Maßgebende stündliche Verkehrsbelastung für die Berechnung**

Beurteilungszeitraum	$M_{PKW}$ [PKW/24h]	$M_{LKW}$ [LKW/24h]	$M_{LKW,lärmarm}$ [LKW/24h]	$M_{LKW_s}$ [LKW/24h]	$M_{LKW_s,lärmarm}$ [LKW/24h]
Tag (6 bis 22 Uhr)	3.452	96	96	57	516
Nacht (22 bis 6 Uhr)	503	14	14	8	75

#### 4.3.2 Emissionsschallpegel im Untersuchungsgebiet

Die Berechnung des Emissionsschalles erfolgt nach Gleichung 10, die Ergebnisse sind in den Tabelle 16 und Tabelle 17 dargestellt.

Die Basiswerte für die Fahrzeugemission je nach Fahrbahndeckschicht und Fahrzeugkategorie finden sich bereits in Tabelle 8. Die Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit sind für eine Geschwindigkeit von  $V=130$  km/h in Tabelle 15 dargestellt.

**Tabelle 15: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit für  $V=130$  km/h**

Fahrbahndecke	$K_{V,PKW,F}$ [dB]	$K_{V,LKW,F}$ [dB]	$L_{V,LKW,lärmarm,F}$ [dB]
Asphaltbeton	10,872	6,225	10,291
Beton	12,657	7,470	11,536
Drainasphalt	9,793	4,150	8,216

Die Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung für PKW und LKW betragen für den betrachteten Abschnitt gemäß der Tabelle 10 und Tabelle 11 jeweils 0 dB, da die Längsneigung im Berechnungsgebiet ein Gefälle von 2,5 % aufweist.

Somit betragen die berechneten Emissionsschallpegel wie folgt:

**Tabelle 16: Berechneter Emissionsschallpegel für den Beurteilungszeitraum Tag**

Fahrbahndecke	$L_{PKW,F}$ [dB]	$L_{LKW,F}$ [dB]	$L_{LKW,lärmarm,F}$ [dB]	$L_{LKW_s,F}$ [dB]	$L_{LKW_s,lärmarm,F}$ [dB]	$L_{A,eq}^1$ [dB]
Asphaltbeton	93,3	80,0	82,1	82,8	93,4	<b>96,8</b>
Beton	96,0	82,3	84,3	85,1	95,7	<b>99,3</b>
Drainasphalt	91,2	75,0	77,0	77,7	88,3	<b>93,3</b>

**Tabelle 17: Berechneter Emissionsschallpegel für den Beurteilungszeitraum Nacht**

Fahrbahndecke	$L_{PKW,F}$ [dB]	$L_{LKW,F}$ [dB]	$L_{LKW,lärmarm,F}$ [dB]	$L_{LKW_s,F}$ [dB]	$L_{LKW_s,lärmarm,F}$ [dB]	$L_{A,eq}^1$ [dB]
Asphaltbeton	84,9	71,7	73,7	74,4	85,1	<b>88,4</b>
Beton	87,7	73,9	76,0	76,7	87,3	<b>90,9</b>
Drainasphalt	82,8	66,6	68,7	69,4	80,0	<b>84,9</b>

### 4.3.3 Örtliche Festlegung der zu ermittelnden Immissionserschallpegel

Diese in den Tabelle 16 und Tabelle 17 dargestellten Emissionsschallpegel  $L_{A,eq}^1$  für die verschiedenen Fahrbahndeckschichten und Betrachtungszeiträume dienen als Eingabeparameter und somit als Grundlage für die Berechnung der Immissionserschallpegel durch das Programm SoundPLAN. Berechnet werden die Immissionserschallpegel abschnittsweise unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen wie Topographie, Abschirmung, etc. gemäß RVS 04.02.11 [5]. Die Ergebnisse werden in Rasterlärmmkarten und Schnittlärmmkarten in Kapitel 5 dieser Arbeit dargestellt und diskutiert, allerdings erfolgt bei den Berechnungen im Rahmen dieser Diplomarbeit keine Spektralanalyse. Zusätzlich zu den Rasterlärmmkarten werden an den Gebäuden der Siedlungen spezielle Immissionsorte ausgewählt und einer besonderen Betrachtung unterzogen. Diese Immissionsorte sind in Abbildung 58 dargestellt.

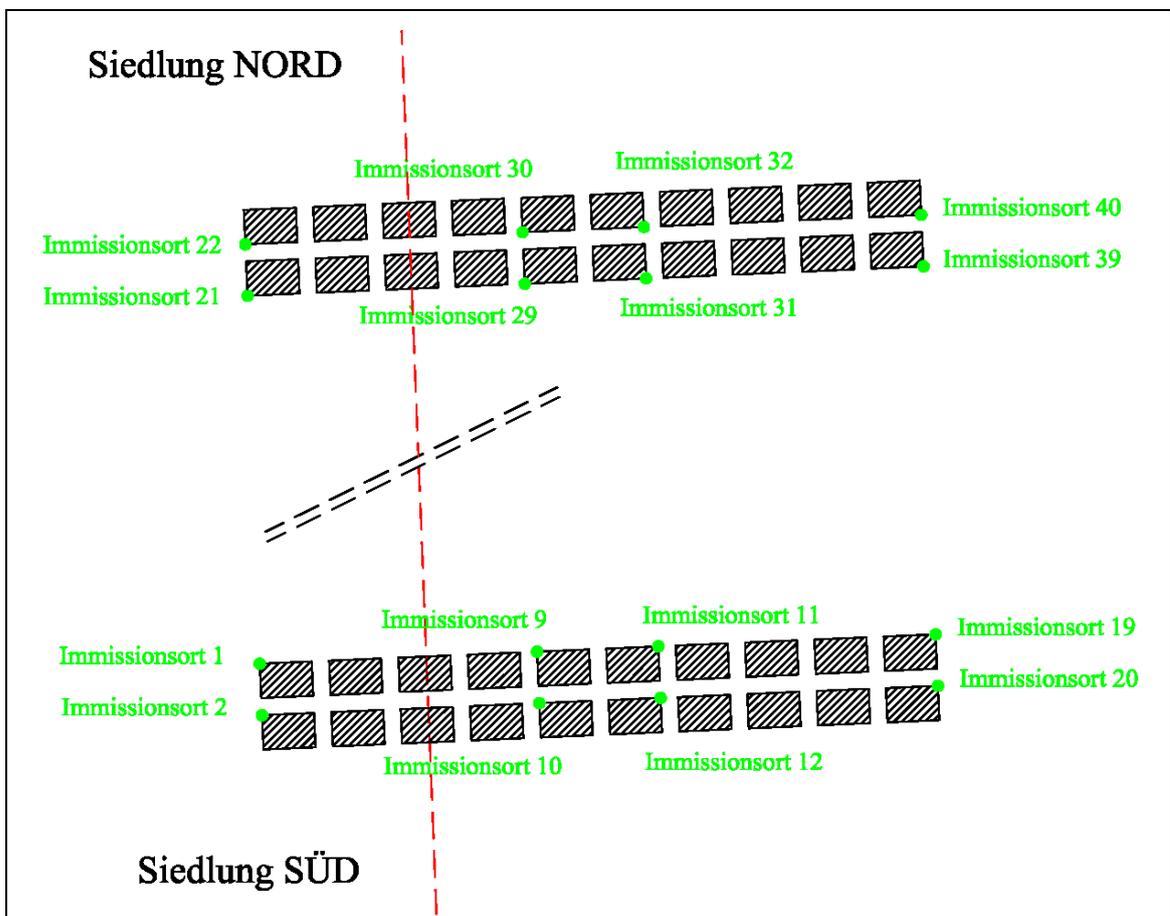


Abbildung 58: Schema der ausgewählten Immissionsorte

## 5. ERGEBNISSE DER MODELLBERECHNUNG

### 5.1 Allgemeines

Zufolge des aufgestellten Geländemodells und der angenommenen Verkehrsbelastung werden unter Zuhilfenahme des Programms „SoundPLAN 6.4“ Rasterlärmkarten berechnet. Zudem wird eine Schnittlärmkarte entlang der in Abbildung 58 rot dargestellten Schnittlinie, welche sich von Süden aus mittig durch die Häuser Nummer 6 und 5 über die Autobahntrasse Richtung Norden durch die Häuser Nummer 25 und 26 zieht, erzeugt. Die Schnittlinie ist zudem in allen Rasterlärmkarten ausgewiesen.

Zusätzlich erfolgt eine Analyse der 16 Immissionsorte, welche die unterschiedlichen Immissionsschallpegel der verschiedenen Häuser und Häuserreihen bezogen auf die Autobahntrasse veranschaulichen sollen.

Sowohl die Raster- und Schnittlärmkarten als auch die Dauerschallpegel der einzelnen Immissionsorte sind für die Beurteilungszeiträume Tag und Nacht unter der allgemeinen Belastung ermittelt worden und werden auch als solche getrennt voneinander betrachtet und ausgewiesen.

Im Rahmen der Untersuchung sind drei verschiedene Typen von Fahrbahndeckschichten untersucht worden, nämlich

- Beton,
- Asphaltbeton sowie
- Drainasphalt,

wobei jede dieser unterschiedlichen Deckschichttypen einer separaten Modellrechnung unterzogen worden ist. Grundsätzlich dient die Untersuchung der drei verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen in dieser Arbeit dazu, eine Aussage über mögliche Lärm-minderungspotenziale dieser Deckschichten tätigen zu können.

Als Grundlage für die Beurteilung der unterschiedlichen Berechnungsmodelle dienen die in der Dienstanweisung des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie ausgewiesenen Immissionsgrenzwerte für die Beurteilungszeiträume Tag und Nacht [16]. Diese Grenzwerte sind wie folgt definiert:

- $L_{\text{night}} = 50 \text{ dB}$  (Beurteilungszeitraum Nacht)
- $L_{\text{den}} = 60 \text{ dB}$  (Beurteilungszeitraum Tag – Abend – Nacht)

Sollten bei der Berechnung der Lärmimmission in den beiden Siedlungsgebieten für einzelne Deckschichttypen die oben genannten Immissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden, so wird eine zusätzliche Modellberechnung unter Berücksichtigung der Errichtung einer zur Erreichung der Grenzwerte ausreichend dimensionierten Lärmschutzwand durchgeführt. Hierfür enthält das Programm „SoundPLAN 6.4“ eine eigene Komponente, die eine iterative Optimierung einer zu errichtenden Lärmschutzwand zur Erreichung der geforderten Grenzwerte durchführt. Diese Optimierung erfolgt sowohl für die Ausdehnung – mit anderen Worten, auf welcher Länge der Trasse eine Lärmschutzwand errichtet werden muss – als auch bezüglich der Höhe der Lärmschutzwand.

In der Folge werden die Ergebnisse der Modellberechnungen für die beiden Fälle

- Berechnung ohne bauliche Lärmschutzmaßnahme sowie
- Berechnung mit Lärmschutzmaßnahme

dargestellt und analysiert.

## 5.2 Modellrechnung ohne bauliche Lärmschutzmaßnahme

Die Ergebnisse der Lärmausbreitungsberechnungen für die drei gewählten Fahrbahn-deckschichttypen zufolge der angenommenen Verkehrsbelastung werden sowohl als Rasterlärmkarte als auch als Schnittlärmkarte dargestellt. Ebenso erfolgt eine Analyse spezieller Immissionsorte der beiden Siedlungen.

### 5.2.1 Analyse für den Beurteilungszeitraum Tag

Der Beurteilungszeitraum Tag umfasst die Zeit von 6:00 Uhr früh bis 22:00 Uhr abends; für diesen ist gemäß Dienstanweisung [16] ein Grenzwert von  $L_{den} = 60$  dB vorgeschrieben.

#### 5.2.1.1 Rasterlärmkarten

Abbildung 59 zeigt die Rasterlärmkarte für den Fahrbahn-deckschichttyp Beton berechnet auf Grundlage der Belastung durch den Straßenverkehr für den Beurteilungszeitraum Tag – Abend – Nacht (von 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr). Den für diesen Zeitraum gültigen Immissionsgrenzwert von 60 dB markiert der Übergangsbereich vom gelben (58 – 60 dB) zum blassrosa Farbbereich (60 – 62 dB). Deutlich zu erkennen ist, dass die der Autobahn zugewandten Bereiche der südlichen Siedlung diesen Grenzwert eindeutig überschreiten. Erst die zweite Häuserreihe kann diesen Wert unterschreiten, da sie von der Abschirmung durch die vorgelagerten, direkt beschallten Häuser profitiert. Dieser Effekt kann auch bei der nördlichen Siedlung festgestellt werden. Interessanterweise wird trotz der doppelten Entfernung zur Autobahn der Grenzwert für die Belastung bei kaum einem der Häuser in der direkten Beschallungslinie erreicht oder unterschritten. Gegenteiliges ist sogar der Fall, wenn man die Häuser 35, 37 und 39 betrachtet, die sogar in der nächst höheren Immissionswertzone liegen als alle Häuser der südlichen Siedlung.

Für die Variante einer Asphaltbetondeckschicht (Abbildung 60) sind zwar im Bereich der Siedlungen niedrigere Immissionsschallpegel feststellbar als im Falle der zuvor beschriebenen Betonvariante, jedoch wird auch in dieser Variante der Grenzwert weder erreicht noch unterschritten. Auffallend ist, dass der Bereich der Immissionspegelzone größer 70 dB (dunkelblauer Bereich) eine weitaus geringere Ausdehnung aufweist als im Falle der Betondeckschicht. Dies lässt schließen, dass im Nahbereich der Trasse für den Fall einer Asphaltbetondeckschicht ein geringerer Schallpegel vorherrscht, als im Falle einer Betonvariante. Weiters ist erkennbar, dass im Bereich der südlichen Siedlung zwar ein ähnliches Lärmausbreitungsbild entsteht, die direkt beschallte erste Häuserreihe aber nicht mehr in der Zone 66 – 68 dB (magenta Bereich) liegen, sondern im Bereich 64 – 66 dB (roter Bereich). Diese Verbesserung geht mit einer deutlich geringeren Breite der 66 – 68 dB Zone einher. Ein ähnliches Bild zeichnet sich für die nördliche Siedlung; auch hier erfahren die direkt beschallten Häuser eine Verbesserung um eine Immissionspegelzone – also circa 2 dB, wobei sich das Schallausbrei-

tungsbild trotzdem nicht wesentlich verändert. Im nördlichen Bereich fällt die Reduktion der Ausbreitung der Immissionspegelzone größer 70 dB deutlicher und in größerem Umfang aus als im südlichen Bereich, in dem es hauptsächlich zu einer Verschiebung der Zone 66 – 68 dB kommt.

Die deutlichste Lärminderung tritt für den Fall einer Drainasphaltdeckschicht (Abbildung 61) ein. Im Bereich südlich der Autobahntrasse beschränkt sich der Immissionschallpegel größer 70 dB auf den Nahbereich der Trasse, die Pegelzonen für Werte über 60 dB treten kaum an den Nahbereich der Siedlung heran. Für die südliche Siedlung wäre im Falle einer einzig auf den Lageplan beschränkten Analyse der Lärmsituation gar keine Notwendigkeit einer Lärmschutzmaßnahme erkennbar, da sogar die direkt beschallten Häuser im Grenzwertbereich (60 dB) liegen. Durch die Betrachtung der einzelnen Immissionspunkte kann jedoch eine Überschreitung der Grenzwerte – allerdings nur im Obergeschoss eines zweistöckigen Gebäudes – ausgemacht werden. Im Umkehrschluss kann somit aber auch festgehalten werden, dass für eine eingeschossige Bauweise in der südlichen Siedlung keine zusätzlichen Lärmschutzmaßnahmen erforderlich gewesen wären. Im Bereich nördlich der Autobahn ist zwar eine deutlich höhere Ausbreitung der Zone größer 70 dB als im südlichen Bereich feststellbar, jedoch beträgt diese im Vergleich zur Variante mit einer Betondeckschicht nur noch etwa ein Viertel der Fläche, im Vergleich zu jener einer herkömmlichen Asphaltbetondeckschicht nur noch knapp die Hälfte der Ausdehnung. Auch im Bereich der nördlichen Siedlung kann man von einer drastischen Verbesserung der Lärmsituation sprechen. In der direkten Beschallungsfront befinden sich nur noch die Häuser 35, 37 und 39 in einem Bereich, der über dem zulässigen Grenzwert liegt, für alle anderen wird dieser eingehalten. Interessant ist hierbei wiederum, dass in der Hanglage trotz doppelter Entfernung zur Tallage selbst im Lageplan einige Häuser den Grenzwert von 60 dB überschreiten.

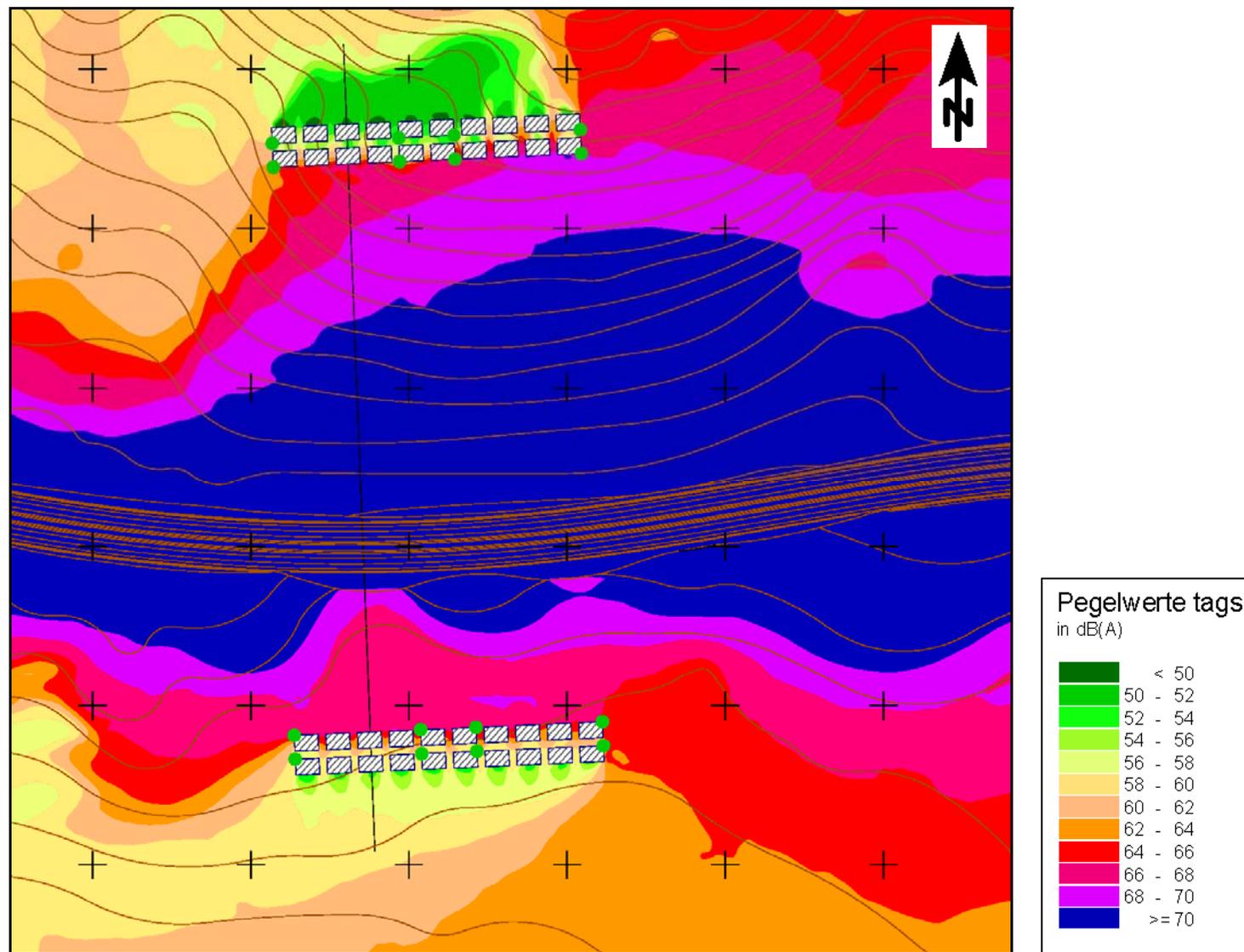


Abbildung 59: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Tag)

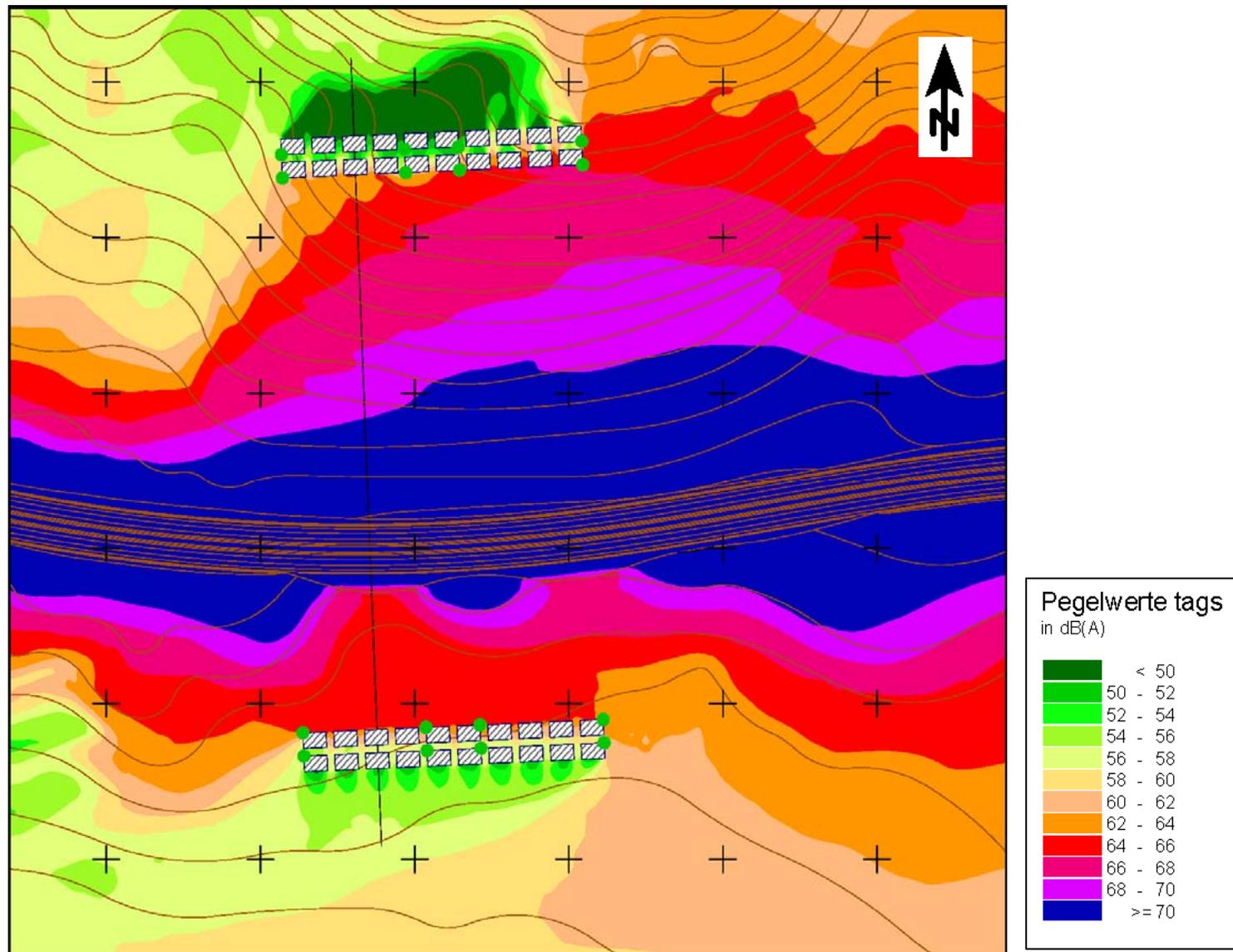


Abbildung 60: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Tag)

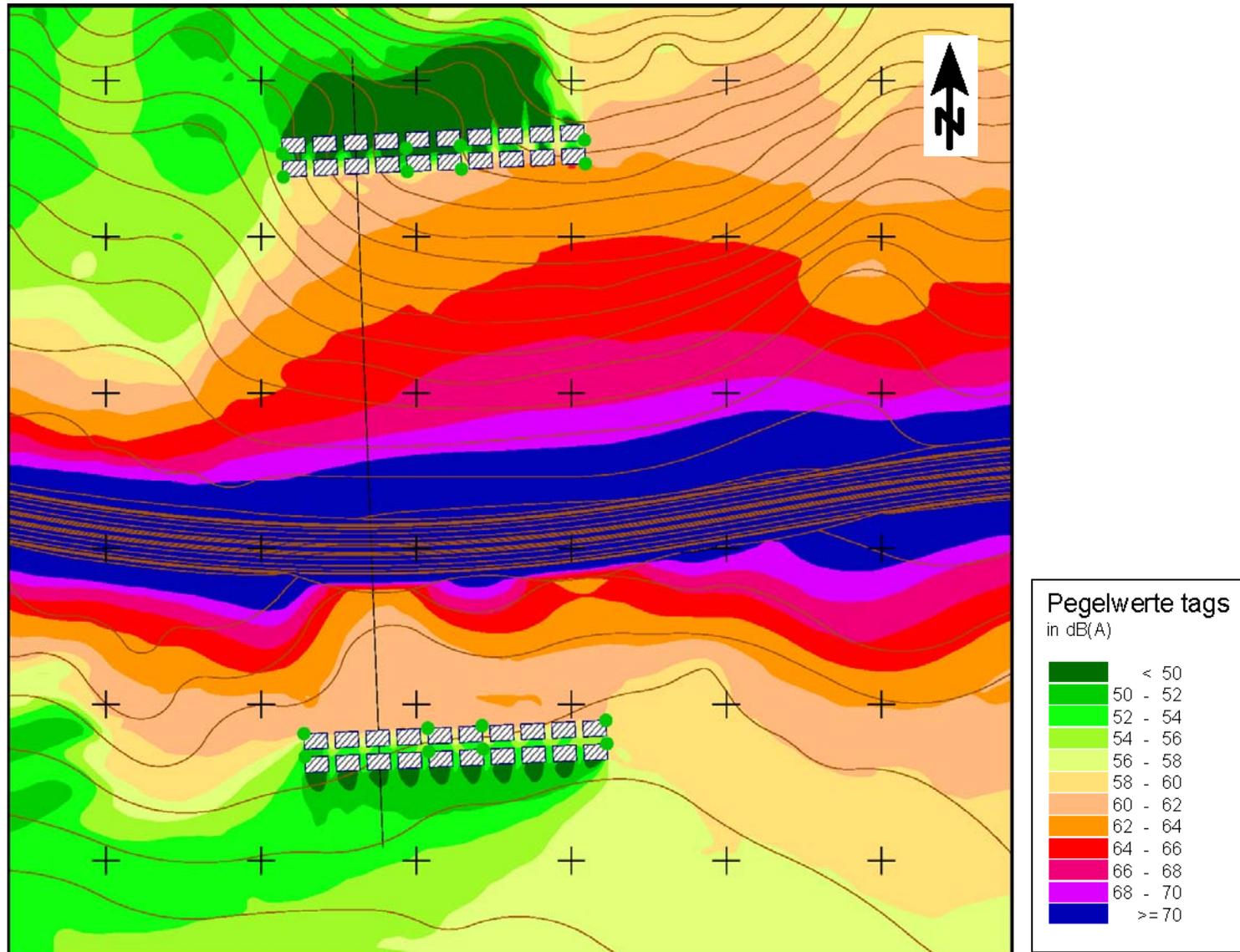


Abbildung 61: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Tag)

### 5.2.1.2 Schnittlärmkarten

Die Schnittlärmkarten stellen die Lärmsituation des untersuchten Geländemodells entlang einer bestimmten Linie im Gelände hinsichtlich der vertikalen Ausbreitung des Schalls dar. Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Schnittlärmkarte für alle bearbeiteten Deckschichtvarianten und für beide Beurteilungszeiträume separat errechnet. Um eine Aussagekraft dieser Darstellung zu gewährleisten, wird der Schnitt für alle Varianten an derselben Stelle geführt.

Abbildung 62 zeigt die Schnittlärmkarte für die Variante einer Betonschichtdecke. Eindeutig zu erkennen ist, dass der erforderliche Grenzwert von 60 dB für beide Siedlungen (linkerhand die südliche, im rechten Blattbereich die nördliche) überschritten wird. Weiters ist zu erkennen, dass die oberen Stockwerke der direkt beschallten Gebäude einen höheren Schallpegel aufweisen als die unteren. Diese Erkenntnis, sowie jene, dass die hinteren Gebäude durch die vorstehende Verbauung abgeschirmt und somit einem niedrigeren Schallpegel ausgesetzt sind, lassen sich in allen drei Schnittkarten ablesen.

Für die Variante einer herkömmlichen Asphaltbetondeckschicht (Abbildung 63) ist erkennbar, dass sich die Gebäude – so wie schon für den Lageplan beschrieben – durchwegs in einer um 2 dB besseren Pegelzone befinden.

Die größte Pegelminderung ist wieder in Abbildung 64 erkennbar, welche die Drainasphaltvariante darstellt. Gut zu erkennen ist die von Variante zu Variante schmalere werdende Pegelzone für Werte größer 70 dB.

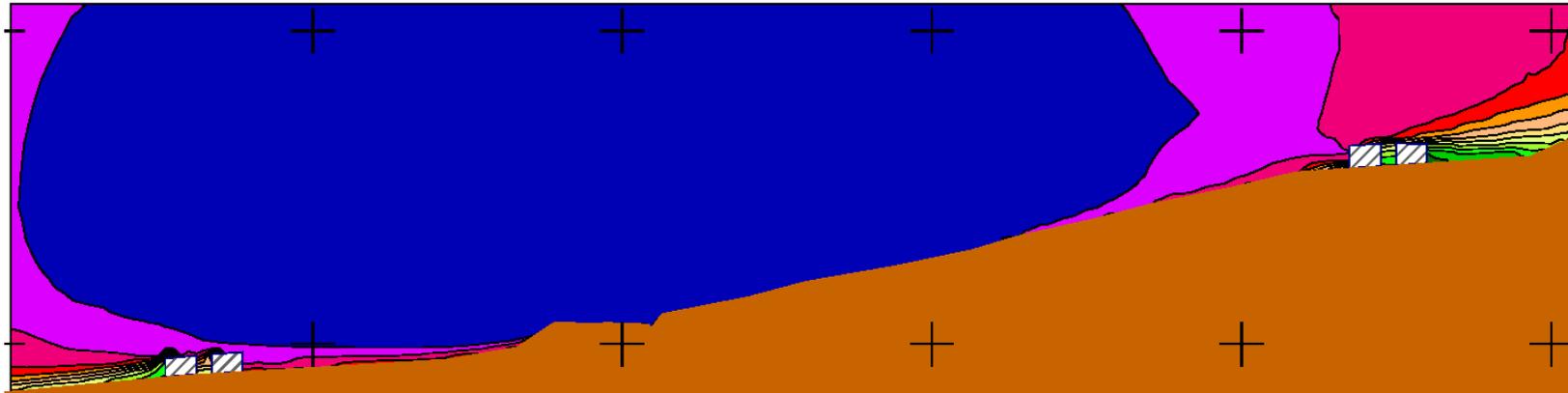


Abbildung 62: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Tag)

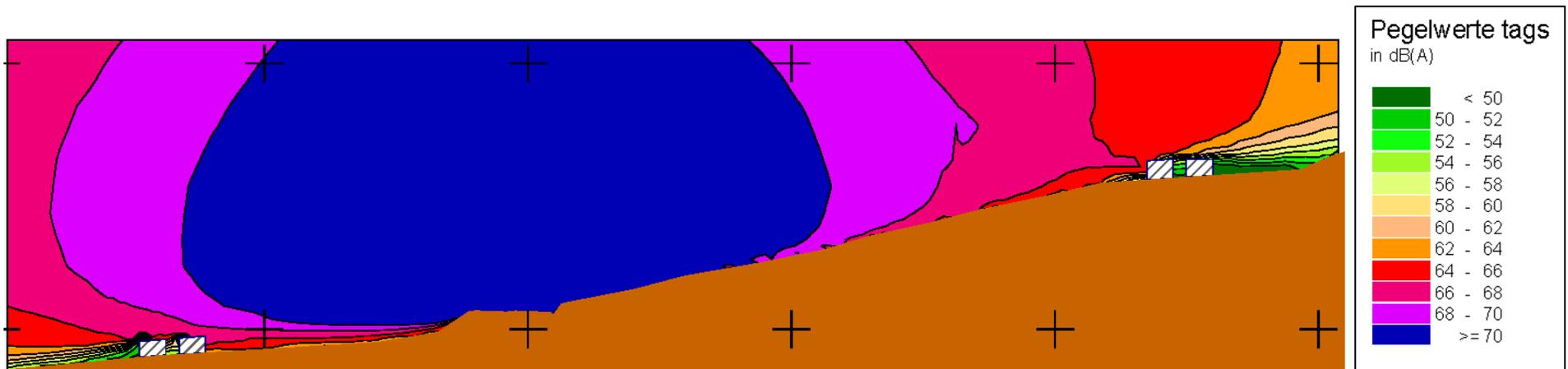


Abbildung 63: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Tag)

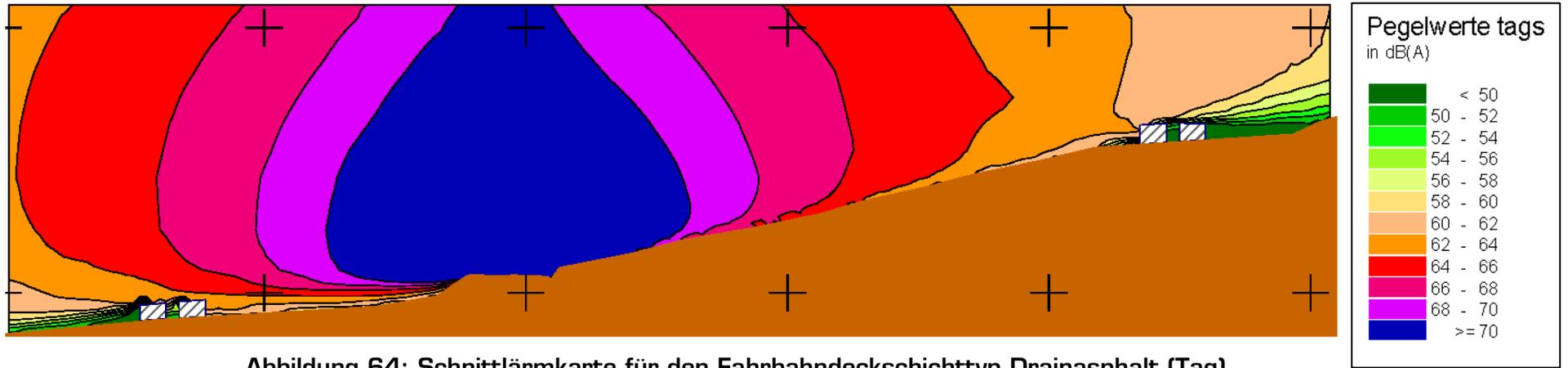


Abbildung 64: Schnittlärmmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Tag)

## 5.2.2 Analyse Beurteilungszeitraum Nacht

Der Beurteilungszeitraum Nacht umfasst die Zeit von 22:00 Uhr abends bis 6:00 Uhr früh; für diesen Zeitraum ist gemäß Dienstanweisung [16] ein Grenzwert von  $L_{\text{night}} = 50$  dB vorgeschrieben. Zwar ist die Verkehrsbelastung für den Zeitraum der Nacht geringer als untertags, jedoch besteht ein weitaus größeres Ruhebedürfnis; vor allem der deutlich niedrigere Pegelgrenzwert soll diesem Umstand Rechnung tragen.

### 5.2.2.1 Rasterlärmkarten

Abbildung 65 zeigt die Rasterlärmkarte für die Variante einer Betondeckschicht. Auch für den Beurteilungszeitraum Nacht werden die Grenzwerte in den Bereichen der direkt beschallten Gebäude überschritten, wobei wiederum in der nördlichen Siedlung – obwohl doppelt so weit von der Trasse entfernt wie die südliche – kaum bessere Pegelergebnisse erzielt werden können. Im Gegenteil sind die Häuser 37 und 39 wieder einem höheren Pegel ausgesetzt als die gesamte südliche Siedlung. Prinzipiell zeigen sich die gleichen Tendenzen wie für den Beurteilungszeitraum Tag, einzig mit dem Unterschied einer deutlich geringeren Verkehrsbelastung und somit geringerer Immissionsschallpegel – ohne jedoch die für die Nacht erforderlichen Grenzwerte einhalten zu können.

Für die herkömmliche Asphaltbetondeckschicht (Abbildung 66) kann – wie schon für den Beurteilungszeitraum Tag – eine Verbesserung um etwa 2 dB im Vergleich zur Betonvariante festgestellt werden. Doch auch hier kann wiederum der Grenzwert weder eingehalten noch unterschritten werden. Interessanterweise kann im Vergleich der beiden Varianten zwar eine Reduktion der größer 70 dB Zone für den nördlich der Trasse liegenden Abschnitt – also für die Hanglage – festgestellt werden, aber nicht für den südlichen der Autobahn befindlichen Dammabschnitt. In diesem Bereich sind sich die Varianten – zumindest für die sehr großen Schallpegel – äußerst ähnlich.

Im Falle einer Drainasphaltdeckschicht (Abbildung 67) beschränkt sich die Zone mit dem höchsten Pegelwert (größer 70 dB) nur noch auf den direkten Autobahntrassenbereich. Die Gebäude befinden sich entweder innerhalb des Grenzwertes oder liegen nur knapp darüber (der Übergang von der dunkelgrünen zur grünen Zone markiert den Grenzwert von 50 dB). Einzig die Gebäude 37 und 39 der nördlichen Siedlung überschreiten den Grenzwert wieder markanter.

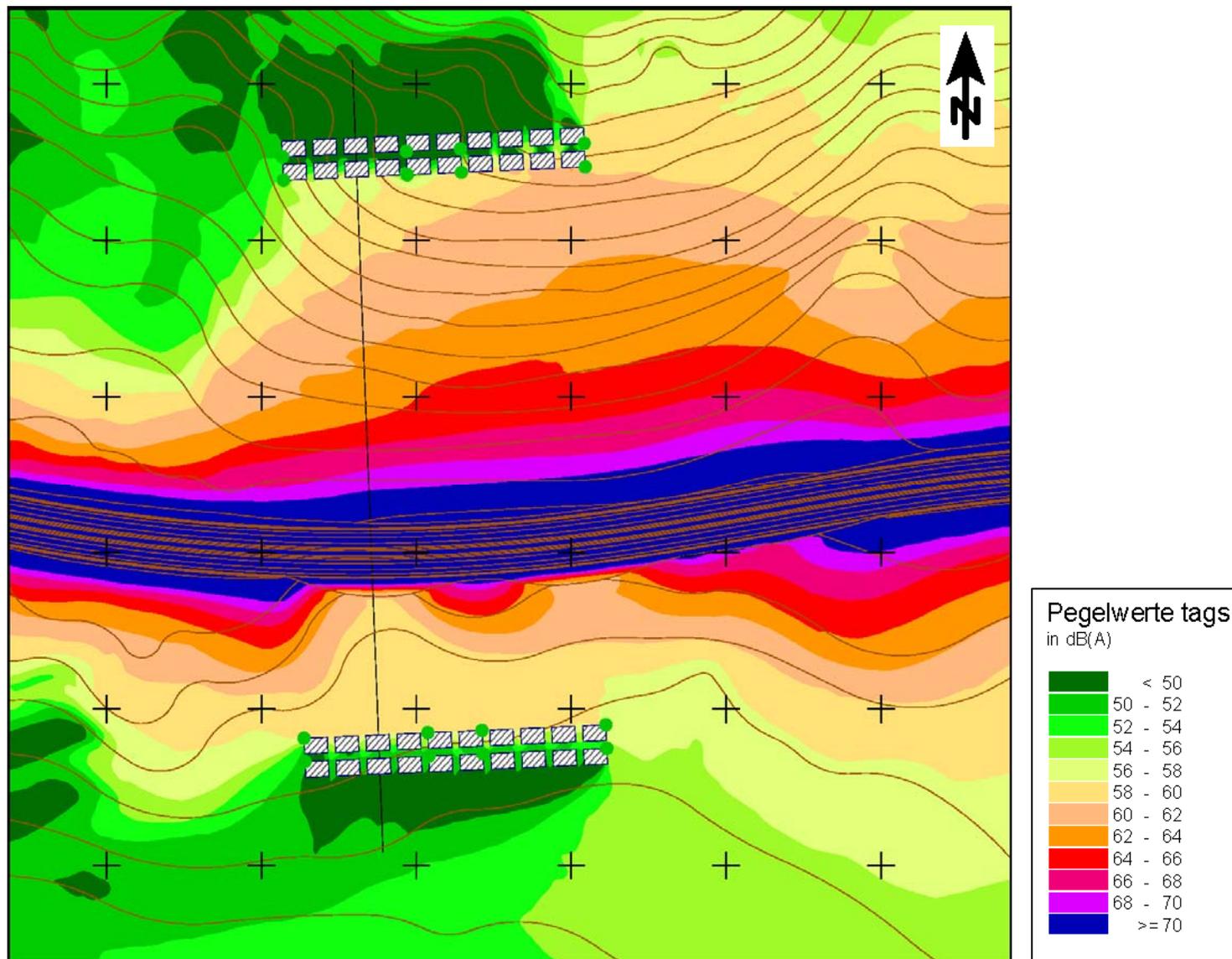


Abbildung 65: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Nacht)

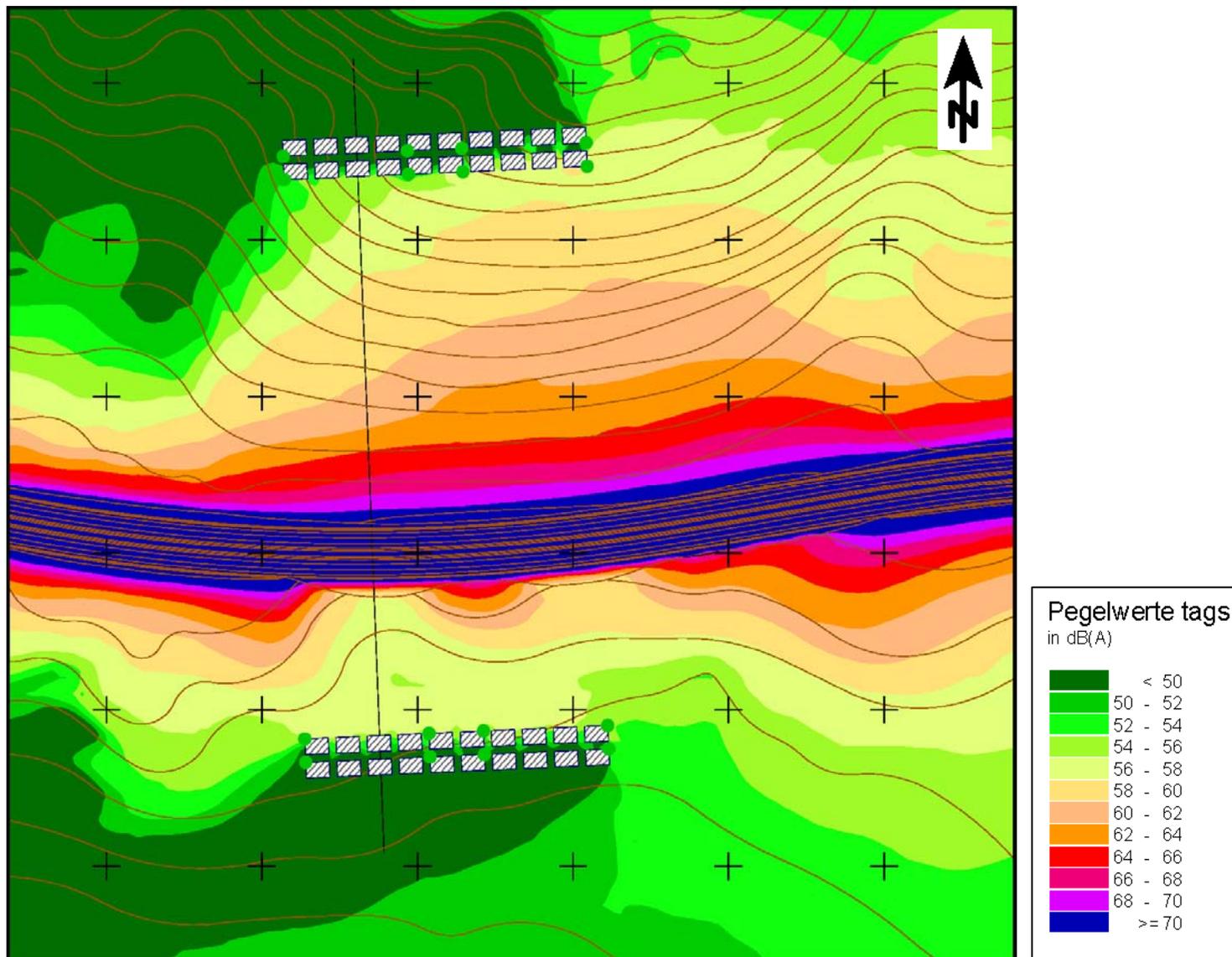


Abbildung 66: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Nacht)

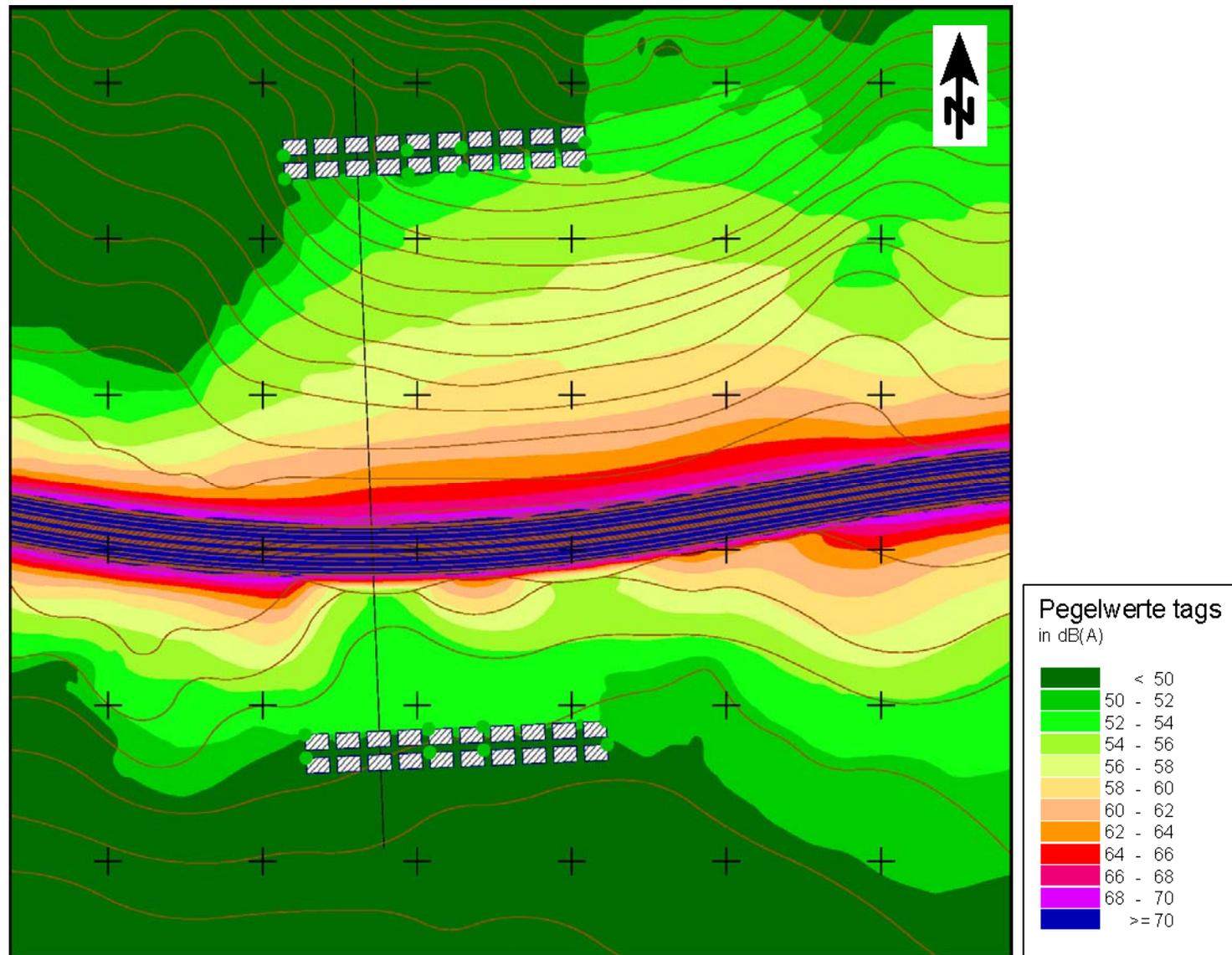


Abbildung 67: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Nacht)

### 5.2.2.2 Schnittlärmkarten

Die in Abbildung 68 dargestellte Schnittlärmkarte zeigt die Lärmsituation für die Variante der Betondeckschicht. Drei Dinge kommen hier sehr deutlich zum Vorschein; zum einen befinden sich die Häuser in der direkten Beschallungslinie alle in Pegelzonen über dem erlaubten Grenzwert, zum anderen befinden sich aber die Gebäude der zweiten Reihe – aufgrund der Abschirmwirkung der diesen vorgelagerten Verbauung – im Rahmen des Grenzwertes und schließlich befinden sich die oberen Stockwerke der Häuser in der direkten Beschallung in einer höheren Pegelzone als die Erdgeschosse.

Für den Fall einer herkömmlichen Asphaltbetondeckschicht (Abbildung 69) kann wieder eine Verbesserung der Lärmsituation um etwa eine Immissionspegelzone (circa 2 dB) festgestellt werden. Deutlich erkennbar ist zudem die weitaus geringe Ausdehnung der Zone für einen Pegel von größer 70 dB. Trotzdem werden im Siedlungsbereich die Grenzwerte bei den autobahnzugewandten Gebäuden nicht eingehalten.

Abbildung 70 zeigt die Variante einer Drainasphaltdeckschicht. Der Bereich der Immissionschallpegel größer als 70 dB beschränkt sich in diesem Falle hauptsächlich auf den direkten Autobahntrassenbereich. Eindeutig erkennbar ist zudem, dass in beiden Siedlungen die Grenzwerte zwar in den Erdgeschossbereichen der autobahnzugewandten Häuser eingehalten wird, jedoch wird der Wert in den Obergeschossen überschritten. Daher ist auch für diese Variante eine Lärmschutzmaßnahme vorzusehen.

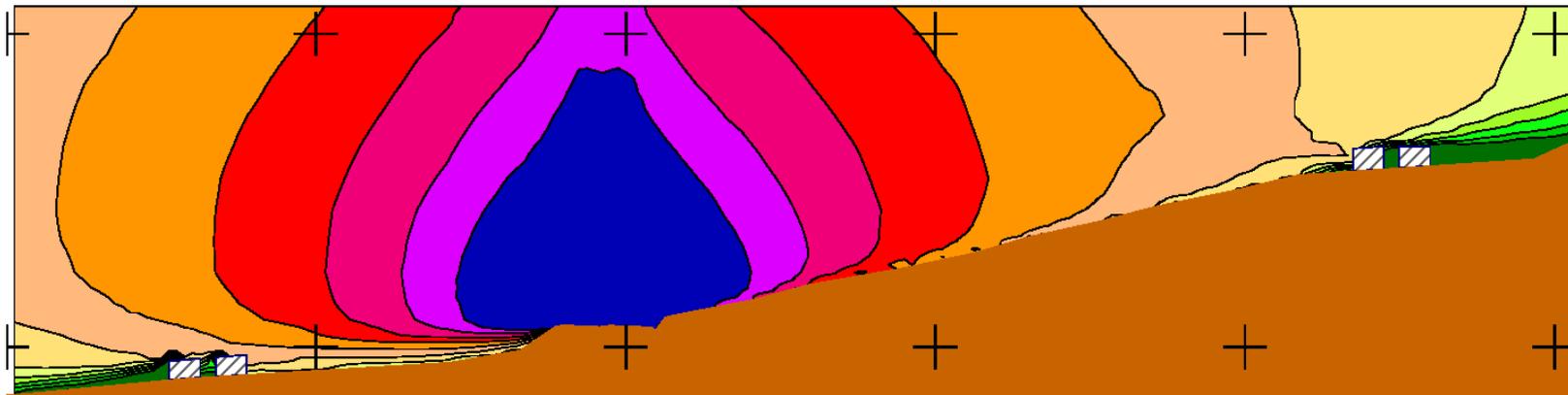


Abbildung 68: Schnittlärmmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Nacht)

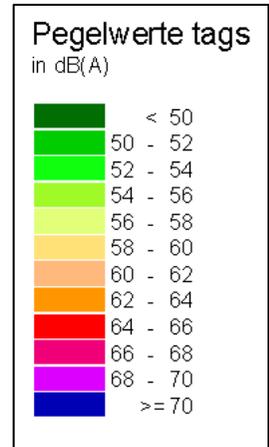
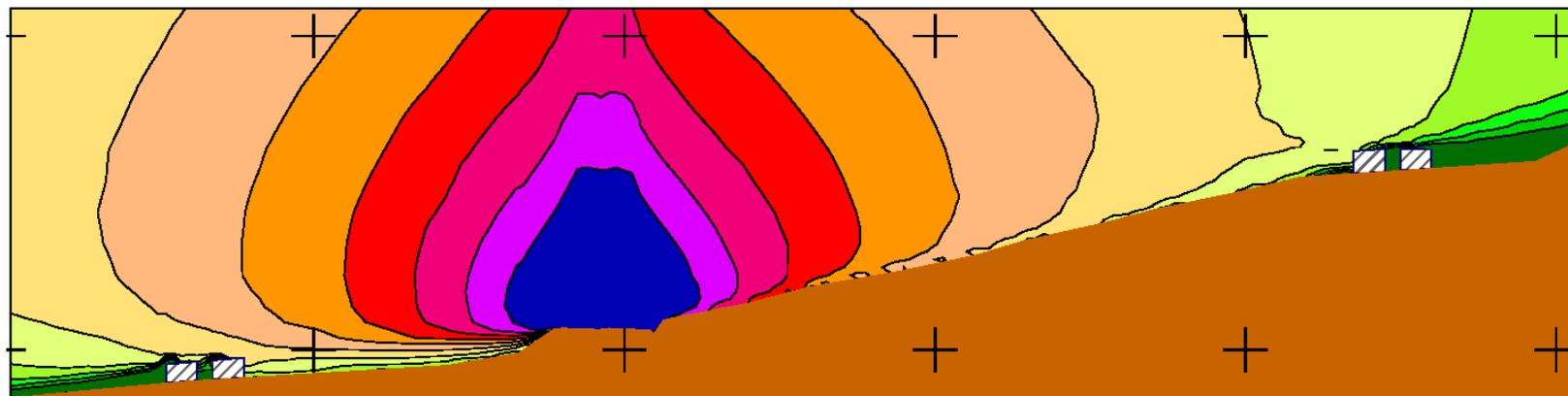


Abbildung 69: Schnittlärmmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Nacht)

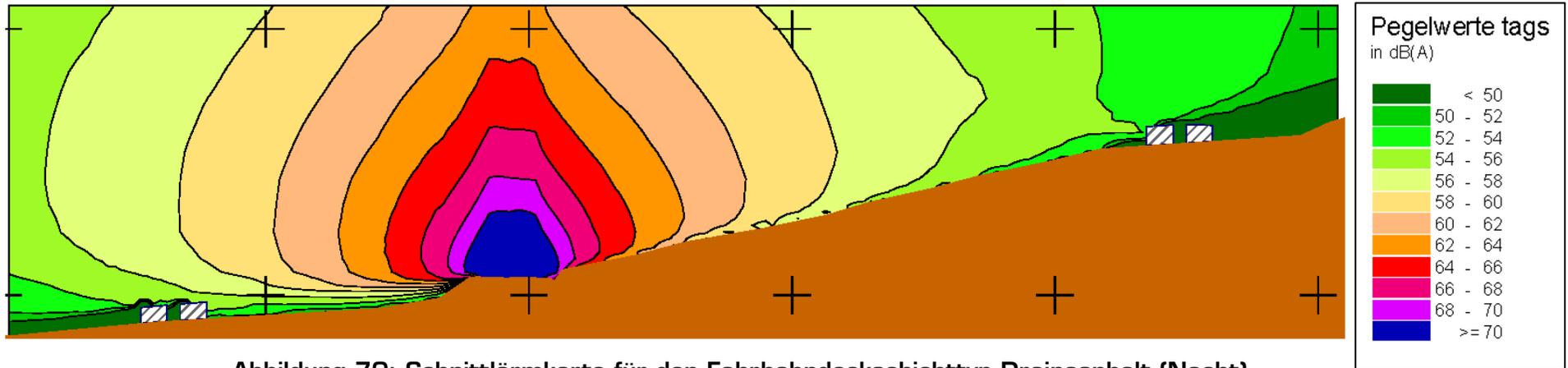


Abbildung 70: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Nacht)

### 5.2.3 Beurteilung der Immissionsorte in der Siedlung

Ausgewertet werden die Ergebnisse der Dauerschallpegel der 16 verschiedenen Immissionspunkte für alle drei Fahrbahndeckschichttypen zufolge der gegebenen Verkehrsbelastung.

Abbildung 71 zeigt die ermittelten Immissionsschallpegelwerte für die Variante einer Betondeckschicht. Aus der Abbildung können folgende Schlüsse gezogen werden; erstens betrifft die Grenzwertüberschreitung vor allem die Gebäude der ersten – also der Autobahn zugewandten – Reihen; zweitens sind die Schallpegel in den Obergeschossen höher als im Erdgeschoß und drittens sind die Grenzwertüberschreitungen für den Beurteilungszeitraum Nacht größer als jene für den Beurteilungszeitraum Tag. Die größten Belastungen in der südlichen Siedlung entstehen bei Gebäude 1 (erste Hausreihe, westlichstes Gebäude) im ersten Obergeschoss mit einem Wert von 67,6 dB (A) für den Tag und 59,2 dB (A) für die Nacht. Dies bedeutet eine höchste Pegelüberschreitung von 9,2 dB (A). Für die nördliche Siedlung weist Haus 39 (erste Reihe, östlichstes Gebäude) mit 68,5 dB (A) für den Tag und 60,1 dB (A) für die Nacht die höchsten Werte auf. In diesem Falle beträgt die höchste Pegelüberschreitung 10,1 dB (A). Obwohl die nördliche Siedlung doppelt so weit entfernt von der Autobahn ist, stellt sie auch die Spitzenwerte für das gesamte besiedelte Untersuchungsgebiet.

In Abbildung 72 sind die Werte für eine herkömmliche Asphaltbetondeckschicht dargestellt. Auch für diese Variante treten in der südlichen Siedlung die höchsten Werte mit 65,1 dB (A) für den Tag und 56,7 dB (A) für die Nacht bei Gebäude 1 im Obergeschoss auf. Somit beträgt die höchste Grenzwertüberschreitung hier 6,7 dB (A). In der nördlichen Siedlung finden sich die höchsten Werte mit 66,0 dB (A) für den Tag und 57,6 dB (A) für die Nacht wieder im Obergeschoss von Haus 39. Somit beträgt die höchste Grenzüberschreitung in der nördlichen Siedlung 7,6 dB (A) und stellt somit eine deutliche Verbesserung im Vergleich zur Variante Betondeckschicht dar.

Bei der Variante Drainasphaltdeckschicht (Abbildung 73) fällt auf, dass im Erdgeschoss nur noch bei Gebäude 39 eine Grenzwertüberschreitung vorliegt. Alle anderen Überschreitungen finden sich im Obergeschoss der Gebäude. In der südlichen Siedlung finden sich die höchsten Werte mit 61,6 dB (A) für den Tag und 53,2 dB (A) für die Nacht wieder bei Gebäude 1. Die größte Grenzwertüberschreitung beträgt hier 3,2 dB (A). Im Falle der nördlichen Siedlung finden sich die höchsten Werte mit 62,5 dB (A) für den Tag und 54,1 dB (A) für die Nacht wieder bei Haus 39. Hier beträgt die höchste Grenzwertüberschreitung 4,1 dB (A), was auch dem Höchstwert für die gesamte Variante entspricht. Anhand dieser höchsten Grenzüberschreitung kann sehr gut das enorme Schallminderungspotenzial der verschiedenen Varianten dargestellt werden. Diese betragen für eine Deckschicht in Beton 10,1 dB (A), für eine in Asphaltbeton 7,6 dB (A) und für eine Variante in Drainasphalt nur noch 4,1 dB (A), siehe Abbildung 74 und Abbildung 75.

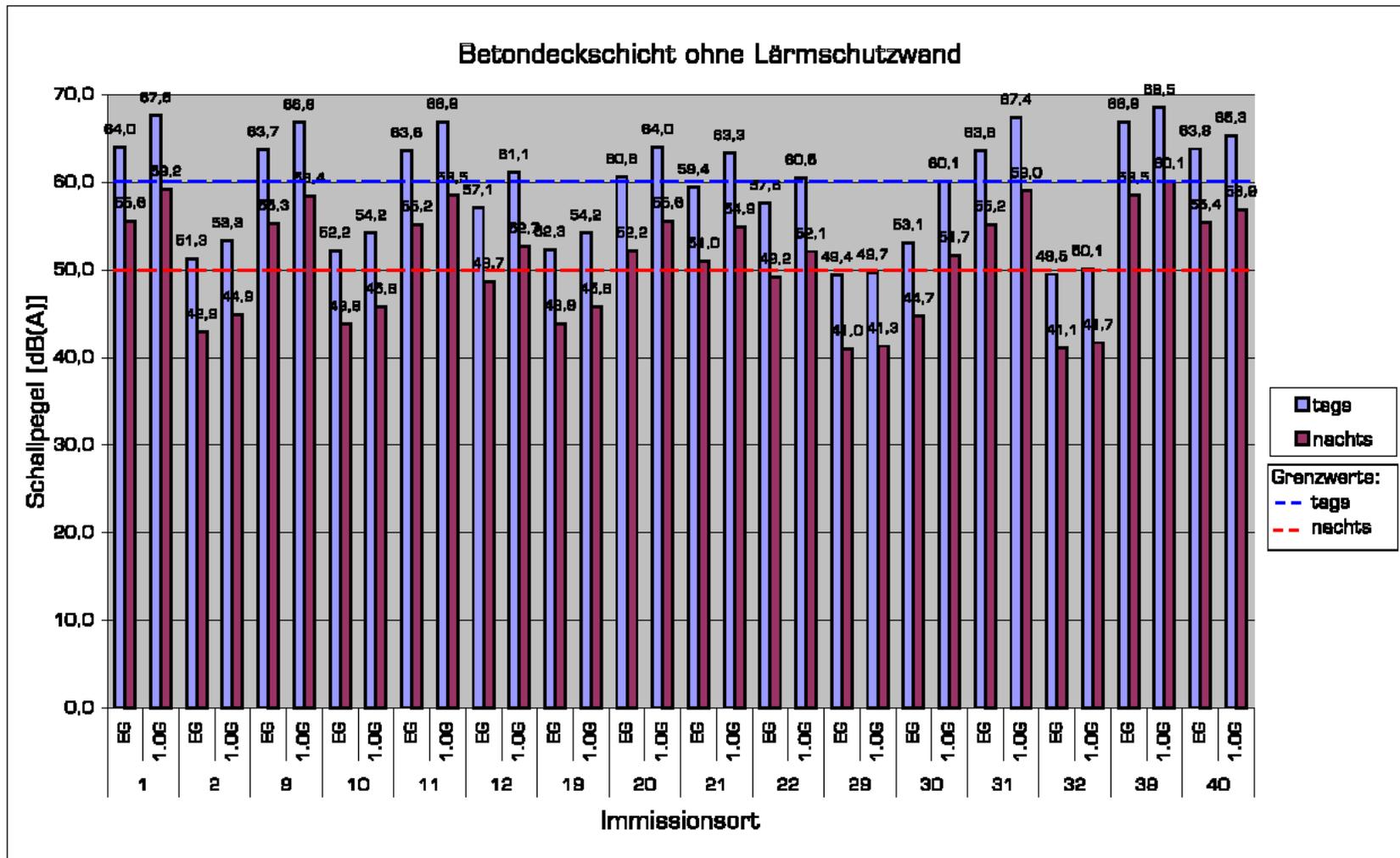


Abbildung 71: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Tag und Nacht)

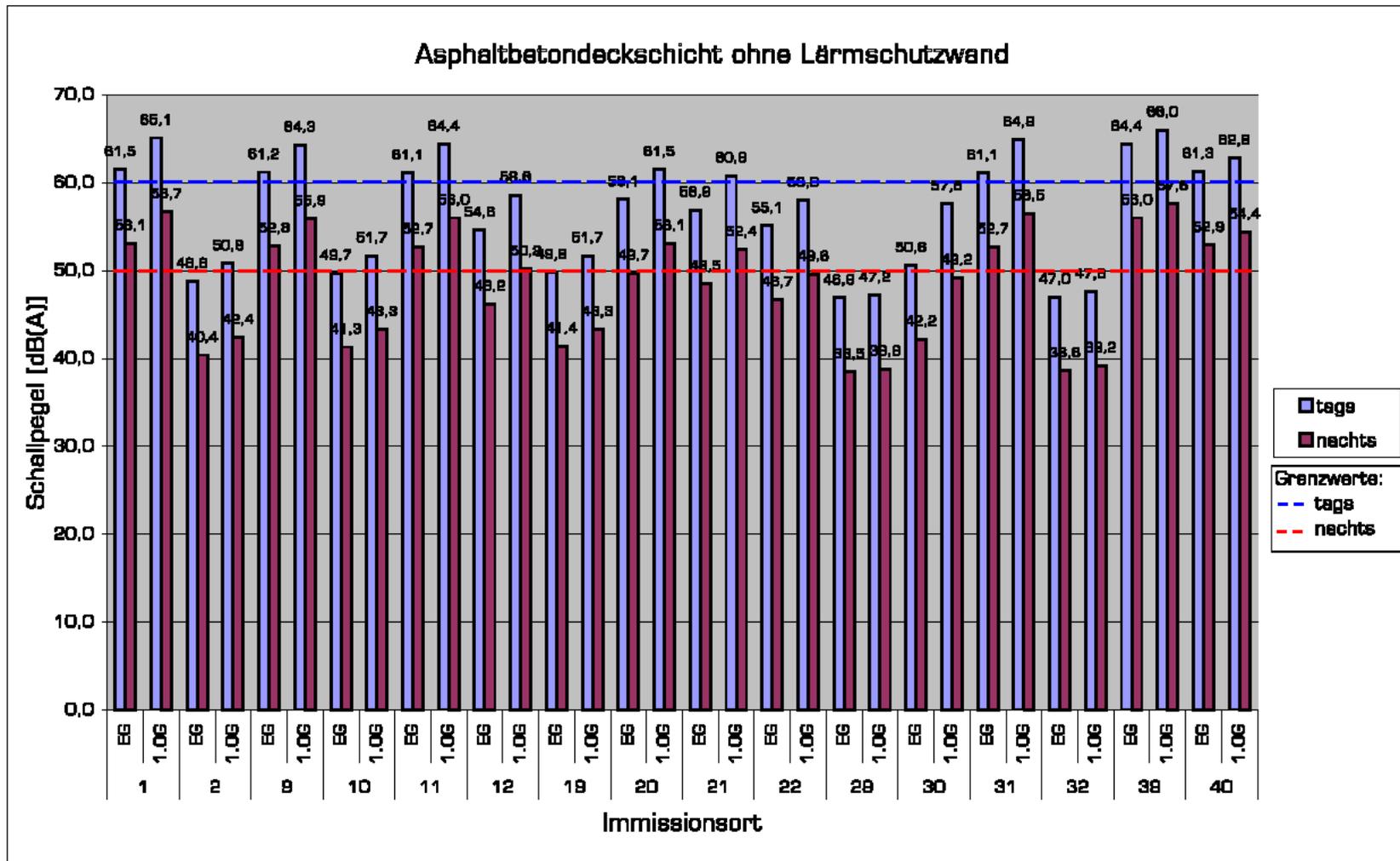


Abbildung 72: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Tag und Nacht)

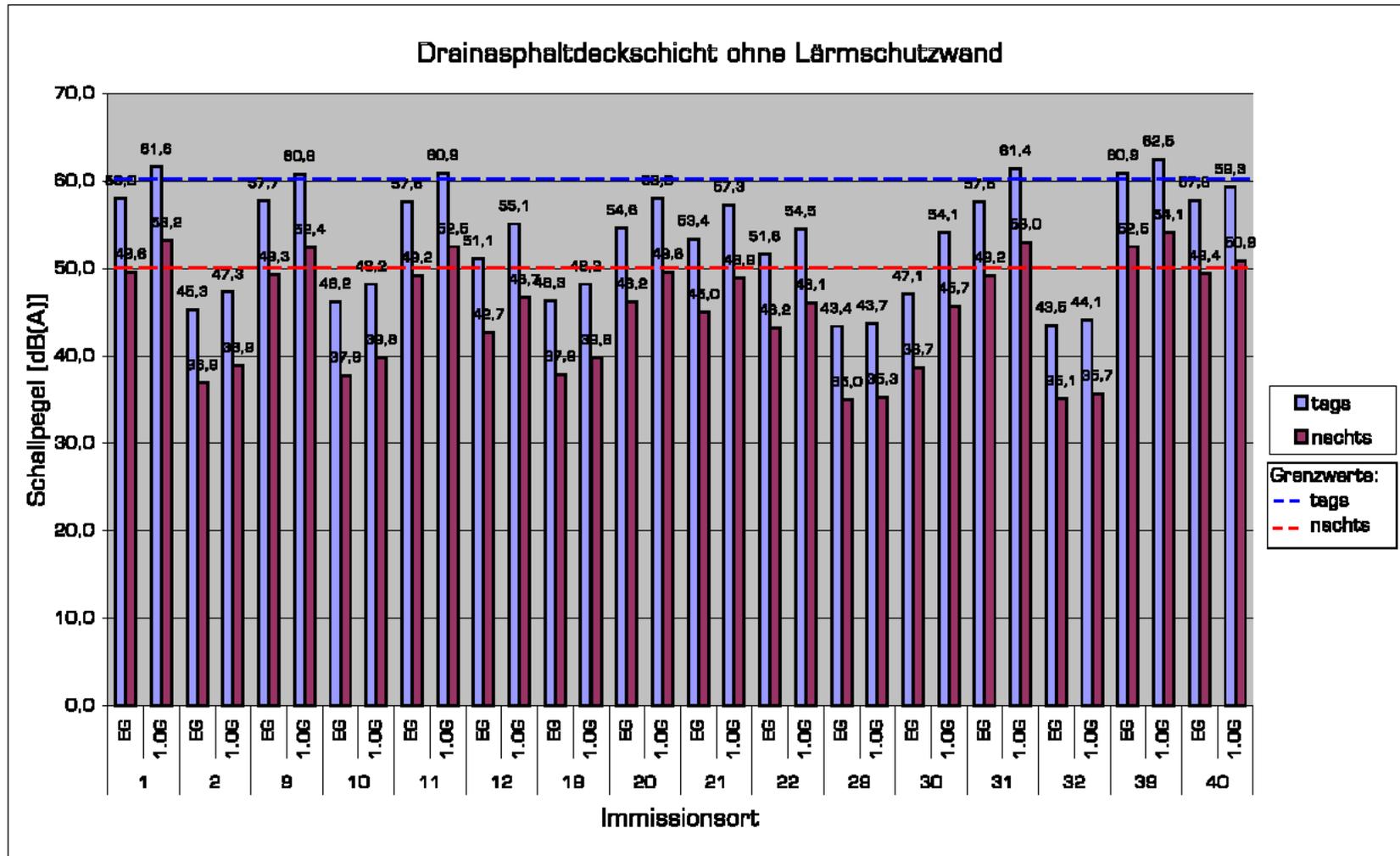


Abbildung 73: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Tag und Nacht)

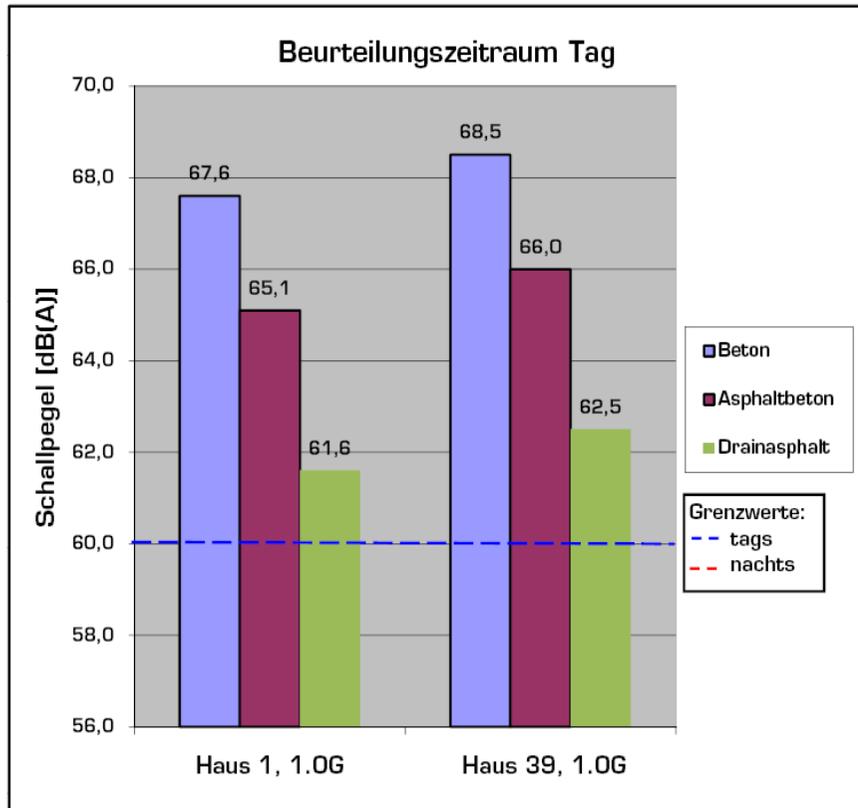


Abbildung 74: Vergleich der maximal auftretenden Pegel-  
überschreitung (Beurteilungszeitraum Tag)

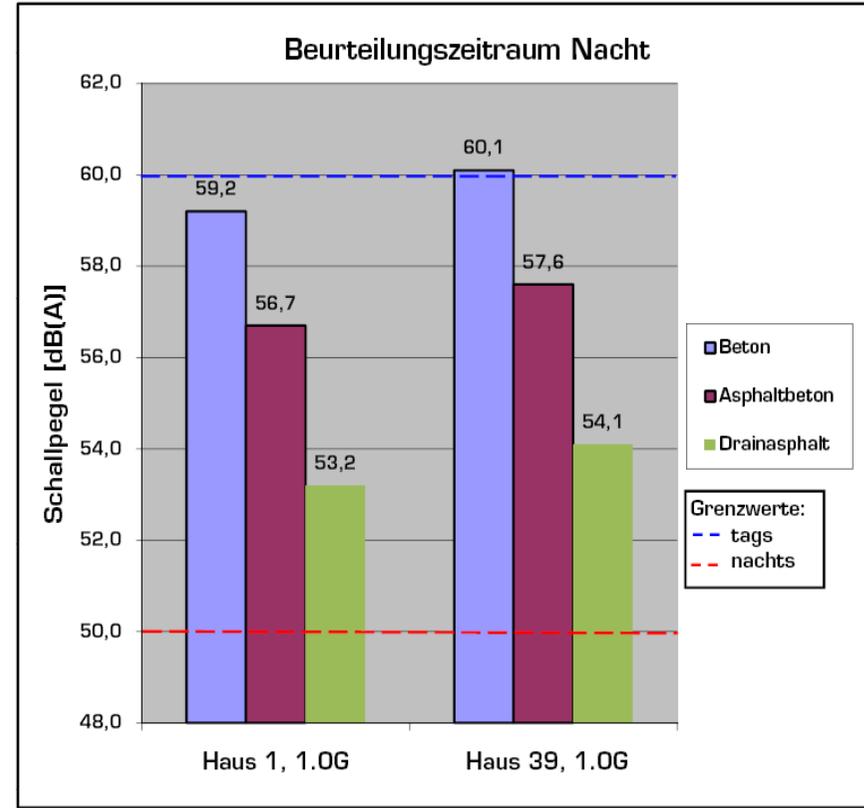


Abbildung 75: Vergleich der maximal auftretenden Pegel-  
überschreitung (Beurteilungszeitraum Nacht)

### 5.3 Modellrechnung mit Lärmschutzwandoptimierung

Die erste Untersuchung der drei verschiedenen Deckschichtvarianten hat für den gegebenen Fall zwar Lärminderungspotenziale erkennen lassen, jedoch reichen diese nicht aus, um ohne weitere Lärmschutzmaßnahmen die Grenzwerte erreichen zu können. Somit ist eine weitere Betrachtung dieser drei Deckschichttypen in Verbindung mit zusätzlichen Lärminderungsmaßnahmen – in diesem Falle einer Lärmschutzwand für jede Richtungs-fahrbahn – notwendig.

Für alle drei Deckschichtvarianten gelten dabei für die neuerliche computerunterstützte Berechnung folgende Parameter; die Lärmschutzwände werden im direkten Anschluss an die Bankette errichtet um eine optimale Abschirmwirkung zu erzielen. Weiters werden ausschließlich gerade Lärmschutzwände als Lösungsvorschlag herangezogen, um eine gesicherte Aussage über das Zusammenwirken von Deckschicht und Lärmschutzmaßnahme treffen zu können, ohne dabei auf hersteller- oder bautypenspezifische Angaben Rücksicht nehmen zu müssen. Um das Einsparungspotenzial durch das Zusammenwirken von Fahrbahndeckschicht und Lärmschutzwand zu untersuchen, wird nicht mit einer Lärmschutzwand einer bestimmten Länge für die unterschiedlichen Deckschichttypen gerechnet, sondern für jeden Typ eine optimierte Lärmschutzwand ermittelt. Die mit dem Programm SoundPLAN durchgeführte Optimierung beschränkt sich nicht nur auf die Ausdehnung der Lärmschutzmaßnahme der Länge nach, sondern wird auch für die Höhe durchgeführt. Da eine möglichst genaue Abbildung der unterschiedlichen Wechselwirkungen aufgezeigt werden soll, sind die bei der Optimierung entstandenen Lärmschutzwände nicht nachträglich nach praxis- oder bautechnischen Gesichtspunkten verändert worden, sondern in deren ursprünglicher Ausbildung belassen.

Die Optimierung wurde sowohl für die Lärmbelastung des Betrachtungszeitraumes Tag als auch für jene des Zeitraumes Nacht ermittelt. Da allerdings der Beurteilungszeitraum Nacht – aufgrund des niedrigeren Grenzwertes, welcher dem erhöhten Ruhebedürfnis Ausdruck verleihen soll – die maßgebende, also längere und höhere, Lärmschutzwand ergeben hat, sind die Raster- und Schnittlärmkarten jeweils für diese Optimierungsvariante erneut berechnet worden. Dies bedeutet, dass die errechnete Wand die Mindestanforderung für das Erreichen der Lärmschutzziele bei Nacht gewährleistet und demnach eine gewisse „Überdimensionierung“ für den Beurteilungszeitraum Tag entsteht.

Die für die verschiedenen Fahrbahndeckschichten ermittelten Lärmschutzwände sind in Tabelle 18 nach Höhe, Situierung und Deckschichtvariante aufgegliedert dargestellt.

Für die verschiedenen Varianten kann folgendes festgestellt werden; zum einen benötigt die Asphaltbetonvariante nur circa drei Viertel, die Drainasphaltdeckschicht gar nur etwa die Hälfte der Länge einer Lärmschutzwand, die bei einer Betondeckschicht benötigt wird, um die Grenzwerte für die Siedlungen einzuhalten. Zum anderen ist erkennbar, dass die erforderliche Höhe der Lärmschutzwände – zumindest im südlichen Bereich – drastisch abnimmt. Für den nördlichen Bereich kann festgestellt werden, dass aufgrund der sehr hohen Wände für alle drei Varianten in einem Hangbereich wohl alternative Standorte für die Wand – eventuell in unmittelbarer Nähe der Siedlung – oder andere Alternativen – wie etwa Lärmschutzfenster – in Betracht gezogen werden müssen. Selbst in Kombination mit lärmindernden Deckschichten kann die maximale

Wandhöhe nicht auf wirtschaftliche Höhen optimiert werden. Im südlichen Betrachtungsgebiet hingegen lässt sich auch die maximal erforderliche Wandhöhe bei einer Kombination mit Asphaltbeton auf drei Viertel, beim Einbau einer Drainasphaltdeckschicht sogar auf die Hälfte reduzieren. Werden nicht die Maximalwerte, sondern die am häufigsten benötigten Wandhöhen verglichen, so verringert sich diese von 5,00 m für die Betondeckschicht auf 3,00 m im Falle einer Asphaltbetondeckschicht und schließlich sogar auf nur noch 1,00 m für die Drainasphaltvariante.

**Tabelle 18: Optimierte Lärmschutzwand für die unterschiedlichen Deckschichttypen**

Höhe der LSW	Länge der Lärmschutzwand								
	Beton			Asphaltbeton			Drainasphalt		
	Süd	Nord	Σ	Süd	Nord	Σ	Süd	Nord	Σ
	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]
0,50	-	-	-	-	-	-	11,51	-	11,51
1,00	-	-	-	-	-	-	200,54	-	200,54
1,50	-	-	-	-	-	-	96,15	-	96,15
2,00	-	-	-	-	-	-	20,12	-	20,12
2,50	-	-	-	85,71	-	85,71	-	-	-
3,00	9,88	-	9,88	180,99	-	180,99	-	-	-
3,50	-	-	-	140,99	-	140,99	-	-	-
4,00	14,82	-	14,82	20,43	-	20,43	-	-	-
4,50	205,44	-	205,44	15,05	-	15,05	-	-	-
5,00	260,67	-	260,67	-	-	-	-	-	-
5,50	45,71	-	45,71	-	-	-	-	-	-
6,00	40,59	-	40,59	-	-	-	-	-	-
6,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,50	-	-	-	-	-	-	-	6,54	6,54
9,00	-	-	-	-	-	-	-	55,38	55,38
9,50	-	64,13	64,13	-	49,54	49,54	-	245,57	245,57
10,00	-	130,62	130,62	-	239,03	239,03	-	-	-
10,50	-	190,02	190,02	-	207,87	207,87	-	-	-
11,00	-	246,42	246,42	-	-	-	-	-	-
11,50	-	14,81	14,81	-	-	-	-	-	-
12,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ	577,1	646,0	1.223,1	443,2	496,4	939,6	328,3	307,5	635,8

Aufgrund der ermittelten Längen und Höhen ergeben sich folgende Flächen der für die unterschiedlichen Deckschichttypen optimierten Lärmschutzwände:

**Tabelle 19: Fläche der optimierte Lärmschutzwand für die unterschiedlichen Deckschichttypen**

Beton			Asphaltbeton			Drainasphalt		
Süd	Nord	$\Sigma$	Süd	Nord	$\Sigma$	Süd	Nord	$\Sigma$
[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]
2.811,7	6.791,6	9.603,3	1.400,2	5.043,6	6.443,7	390,8	2.886,9	3.277,7

Eine detailliertere Aufstellung findet sich in Tabelle 21.

### 5.3.1 Analyse für den Beurteilungszeitraum Tag

Der Beurteilungszeitraum Tag umfasst die Zeit von 6:00 Uhr früh bis 22:00 Uhr abends; für diesen ist gemäß Dienstanweisung [16] ein Grenzwert von  $L_{den} = 60$  dB vorgeschrieben.

#### 5.3.1.1 Rasterlärmkarten

Abbildung 76 zeigt die Rasterlärmkarte für die Deckschichtvariante Beton unter Berücksichtigung der vom Programm SoundPLAN errechneten und optimierten Lärmschutzwand. Abbildung 77 zeigt den Fall einer herkömmlichen Asphaltbetonausführung in Verbindung mit einer optimierten Lärmschutzwand und Abbildung 78 die Variante einer Drainasphaltdeckschicht samt dazu abgestimmter Lärmschutzwand.

Allen drei Varianten der Deckschichtausführung in Verbindung mit einer optimierten, geraden Lärmschutzwand ist gemein, dass nunmehr für alle Gebäude und deren Stockwerke der geforderte Grenzwert von 60 dB unter- oder zumindest nicht überschritten wird.

Bei den drei Abbildungen ist zudem zu erkennen, dass sich die drei Schallpegelzonen für die Bereiche von 66 – 68 dB (magenta), 68 – 70 dB (violett) und größer 70 dB (dunkelblau) im Falle des Vorhandenseins einer Lärmschutzwand auf den unmittelbaren Raum der Trasse und der Lärmschutzwand beschränken. Erst am Ende der Wände gewinnen diese Zonen hoher Pegelwerte wieder an Raum. Aufgrund dieser Beobachtung kann auch ein sehr guter Vergleich der Ausdehnung der unterschiedlichen Lärmschutzmaßnahmen getätigt werden. Sehr gut erkennbar ist zudem, dass in den Endbereichen der zusätzlichen Lärmschutzmaßnahme die Pegelzonen eine in Wandrichtung laufende Ausdehnung der Belastung aufweisen. Dies ist auf die Kugelförmige Ausbreitung des Schalls zurückzuführen, und stellt auch den Grund dafür dar, dass Lärmschutzwände immer über den eigentlich zu schützenden Siedlungsbereich hinaus errichtet werden müssen.

Trotz dieser Gemeinsamkeit können markante Unterschiede in der kombinierten Wirkungsweise der verschiedenen Varianten ausgewertet werden. Bei der Variante Beton kann eine – im Vergleich zu den anderen Varianten – sehr ausgeprägte Zone für den Pegelbereich von 64 – 66 dB (roter Farbbereich) festgestellt werden. Zudem ist deren Ausbreitung im nördlichen Betrachtungsgebiet bei der Betondeckschichtausführung ausgeprägter als im südlichen Gebiet, wohingegen bei den beiden anderen Deckschichtvarianten ein genau umgekehrtes Bild bemerkbar ist. Hier ist die Ausbreitung dieser Pegelzone südlich größer als im nördlichen Trassenbereich, der ja auch mit einer weitaus höheren Lärmschutzwand versehen ist. Bei der Variante Drainasphalt ist der Schattenbereich direkt hinter der Lärmschutzwand am deutlichsten erkennbar. Hier ist direkt hinter der nördlichen Lärmschutzwand eine kurze Zone für den Pegelbereich 60 – 62 dB (blassrosa dargestellt) erkennbar, die dann aber in höhere Pegelwerte zwischen 62 und 64 dB (orange) übergeht.

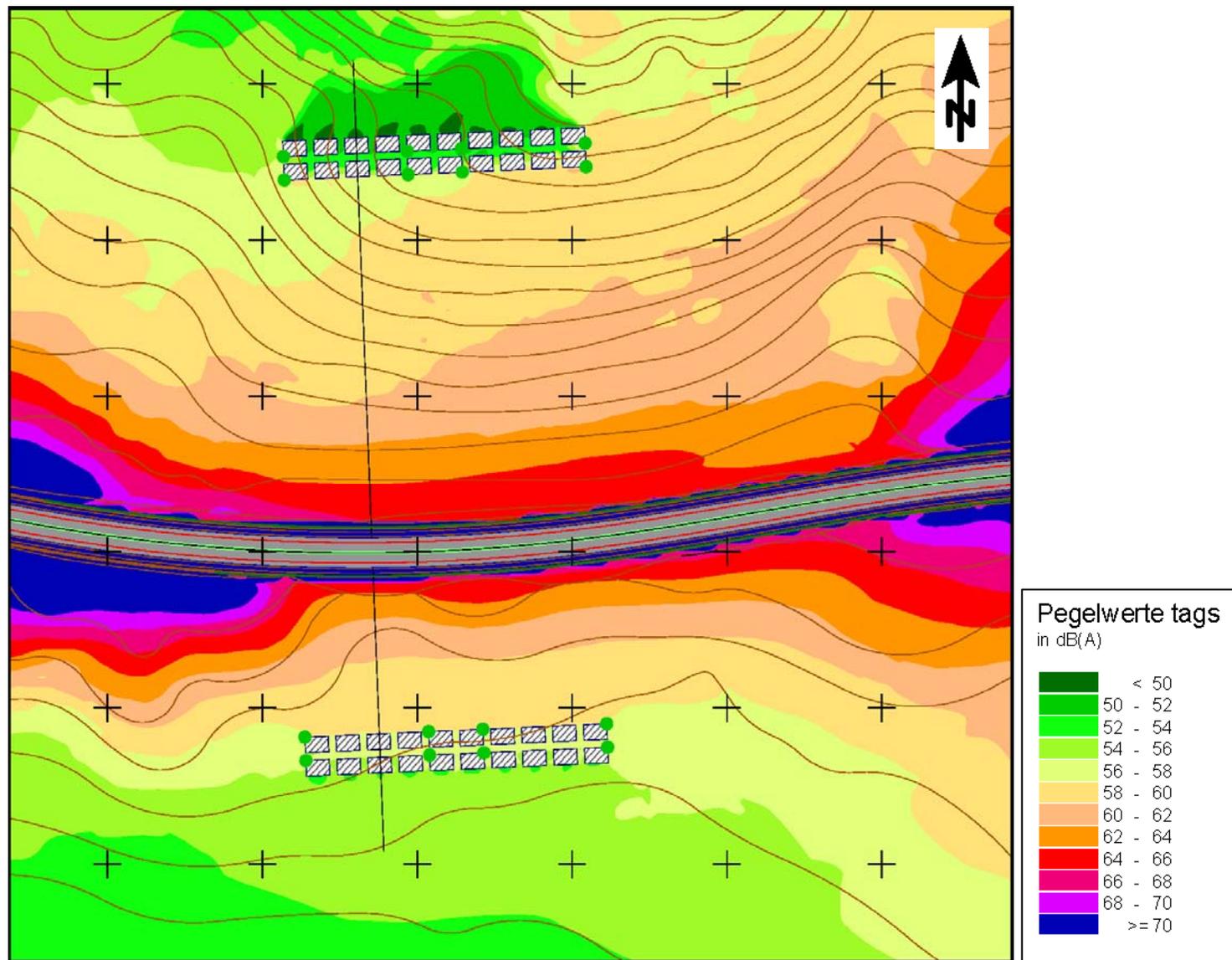


Abbildung 76: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Tag)

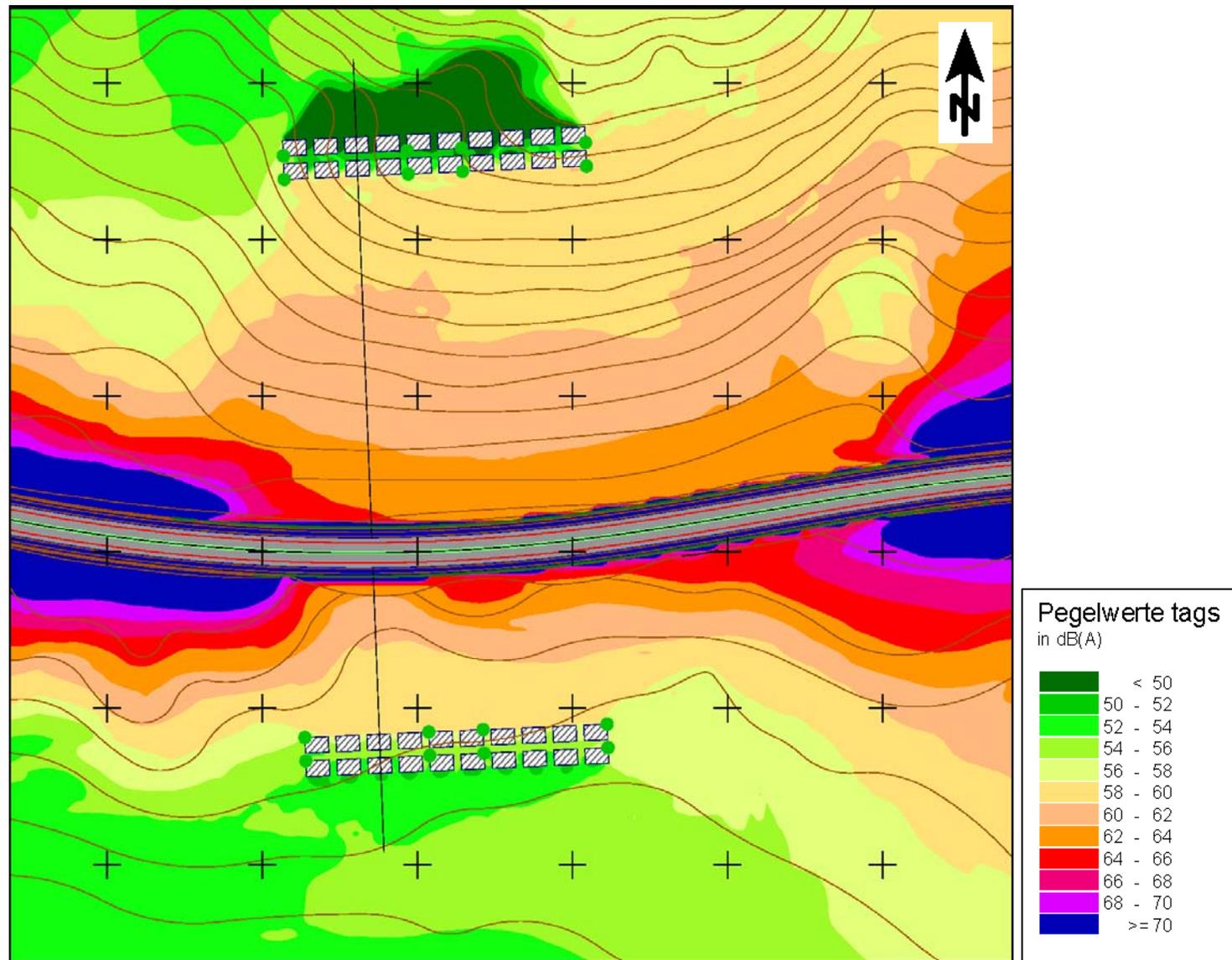


Abbildung 77: Rasterlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Tag)

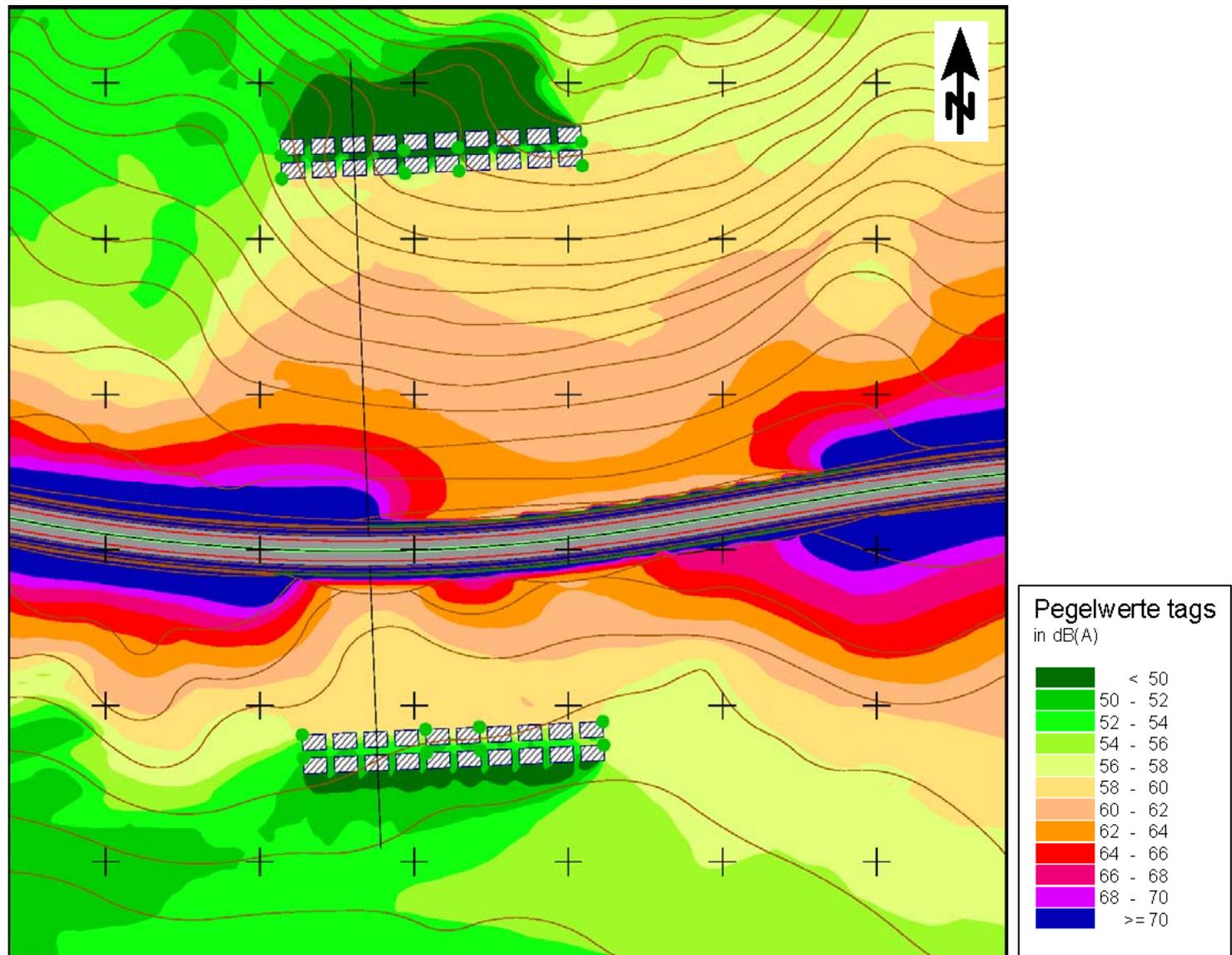


Abbildung 78: Rasterlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Tag)

### 5.3.1.2 Schnittlärmkarten

Die folgenden Abbildung 79, Abbildung 80 und Abbildung 81 zeigen die Schnittlärmkarten für die verschiedenen Ausführungen einer Deckschicht in Verbindung mit einer abgestimmten Lärmschutzwand.

In Abbildung 79 (Betonvariante) und Abbildung 80 (Asphaltbetonausführung) sind die unterschiedlichen Höhen für die südliche (linker Hand) und die nördliche (rechter Hand) Siedlung sehr gut erkennbar. Obwohl die nördliche Siedlung die doppelte Entfernung von der Autobahntrasse aufweist, erfordert deren Schutz dennoch eine etwa doppelt so hohe Lärmschutzwand. Einzig im Falle der Drainsphalvariante (Abbildung 81) wird für den Bereich, in dem der Schnitt geführt wird, keine zusätzliche Lärmschutzmaßnahme für die nördliche Siedlung benötigt. Zudem ist hier auffallend, dass nur eine sehr kleine Höhe der Lärmschutzwand zum Schutz der südlichen Gebäude von Nöten ist.

Aus allen drei Abbildungen kann sehr gut die Wirkungsweise der geraden Lärmschutzwand entnommen werden. Die extrem hohen Pegel des Schallereignisses werden kanalisiert und können sich somit erst am Ende der Wände frei entfalten. Entlang der Lärmschutzwand entsteht somit von oben nach unten eine immer geringere Schallimmission, die sich dann weiter ausbreitet. Beim Vergleich der drei Varianten sind zudem die unterschiedlichen Ausmaße der Pegelzone für eine Belastung größer 70 dB (dunkelblauer Bereich) auffallend, von denen aus sich die weiteren Pegelzonen zwiebelschalenartig fortpflanzen.

Allen Varianten ist gemein, dass für alle Gebäude und Stockwerke der geforderte Grenzwert nicht überschritten wird. Außerdem kann in allen drei Abbildungen die zusätzliche Pegelminderung für die jeweils zweite Häuserreihe der Siedlungen beobachtet werden, die aufgrund der vorgelagerten Verbauung und deren Abschirmwirkung entsteht.

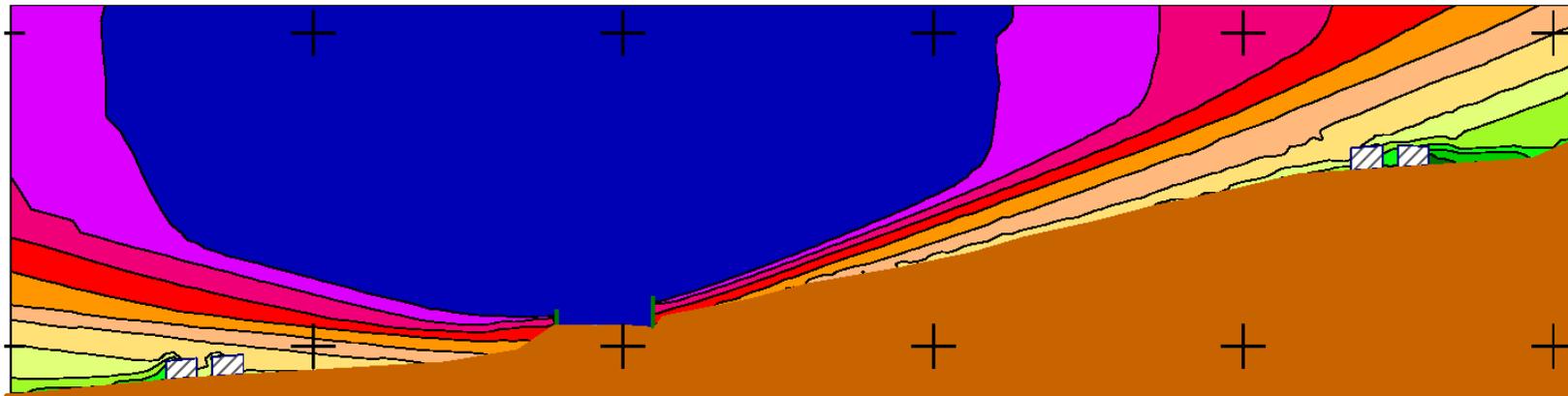


Abbildung 79: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckstyp Beton mit Lärmschutzwand (Tag)

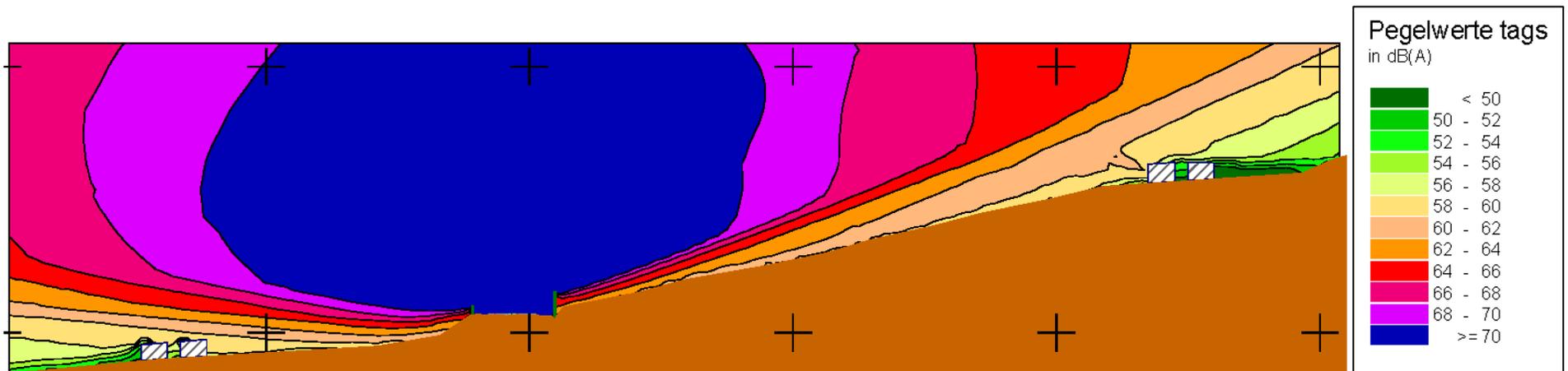


Abbildung 80: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckstyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Tag)

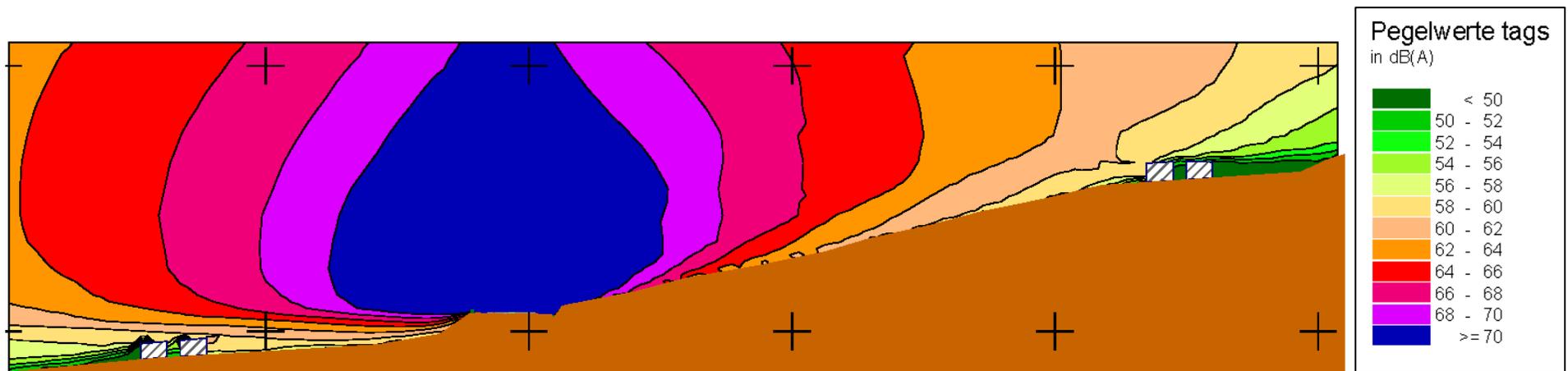


Abbildung 81: Schnittlärmmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Tag)

### 5.3.2 Analyse für den Beurteilungszeitraum Nacht

Der Beurteilungszeitraum Nacht umfasst die Zeit von 22:00 Uhr abends bis 6:00 Uhr früh; für diesen Zeitraum ist gemäß Dienstanweisung [16] ein Grenzwert von  $L_{\text{night}} = 50$  dB vorgeschrieben.

#### 5.3.2.1 Rasterlärnkarten

In den folgenden Abbildung 82 (Betondeckschicht), Abbildung 83 (herkömmlicher Asphaltbeton) und Abbildung 84 (Drainasphaltdeckschicht) sind prinzipiell dieselben Tendenzen wie für den Beurteilungszeitraum Tag erkennbar, einzig mit dem Unterschied viel geringerer Pegelwerte aufgrund der niedrigeren Verkehrsbelastung während dieses Betrachtungszeitraumes. Nunmehr beschränken sich nicht nur die Pegelbereich von über 70 dB bis 66 dB – siehe dazu den Beurteilungszeitraum Tag – auf den unmittelbaren Autobahn- und Lärmschutzwandbereich, so denn eine existiert, sondern auch jene Zonen für die Pegelwerte von 64 – 66 dB (rot), 62 – 64 dB (orange), 60 – 62 dB (blassrosa) und 58 – 60 dB (sandig). Erst die Pegelwertezone 56 – 58 dB (blassgrün) beginnt sich über den Bereich der Lärmschutzwand hinaus auszubreiten. Dies gilt zwar für alle drei Varianten, jedoch kommt es auch für den Beurteilungszeitraum Nacht wieder zu der Besonderheit, dass im Falle einer Betondeckschichtausführung die Ausbreitung jener Zone im nördlich angrenzenden Betrachtungsbereich ausgeprägter ist, als die im südlichen, obwohl die nördliche Lärmschutzwand eine größere Höhe aufweist. Auch kann man im Beobachtungszeitraum Nacht wieder den Schattenbereich direkt hinter der Lärmschutzwand für die Variante Drainasphalt beobachten.

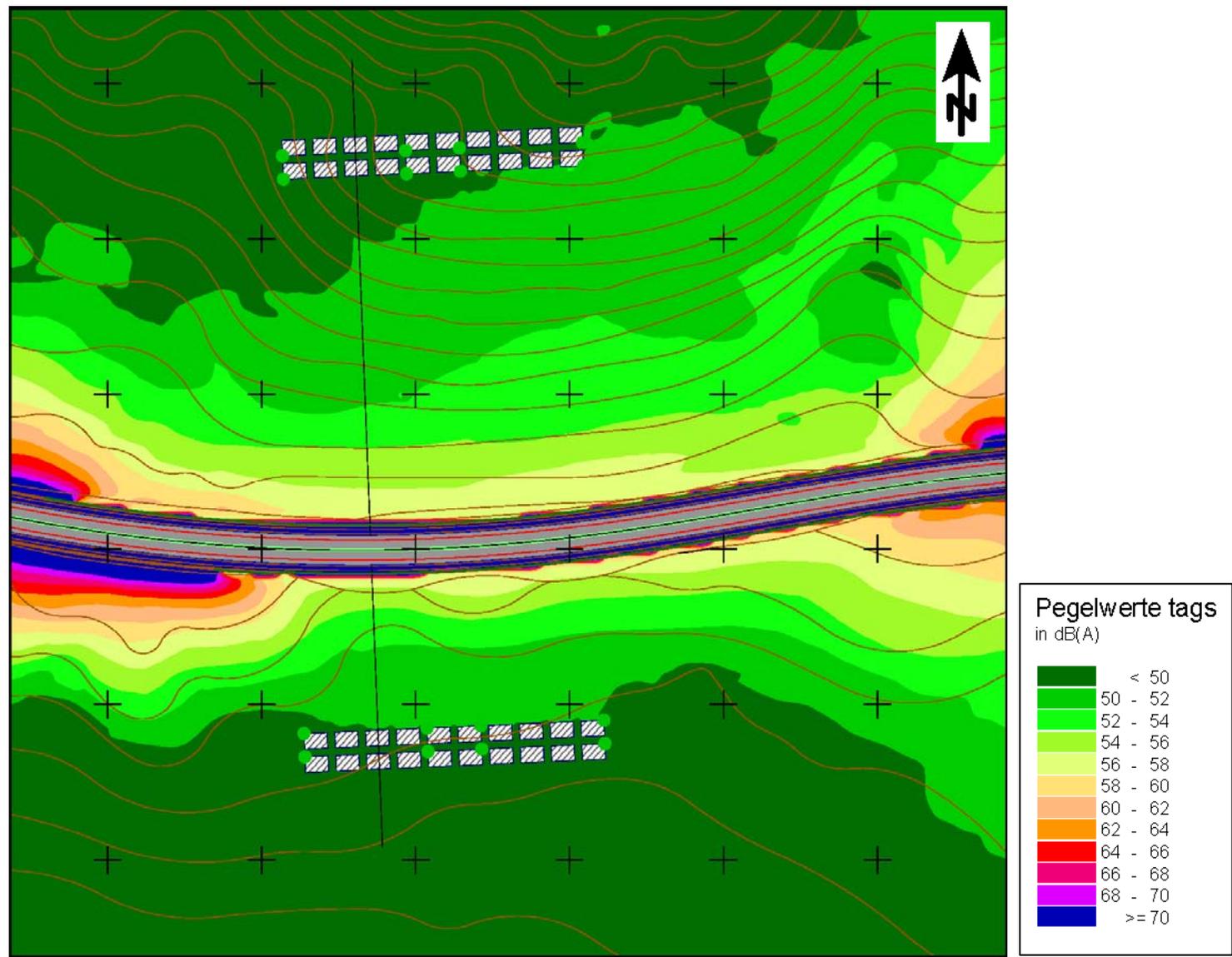


Abbildung 82: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Nacht)

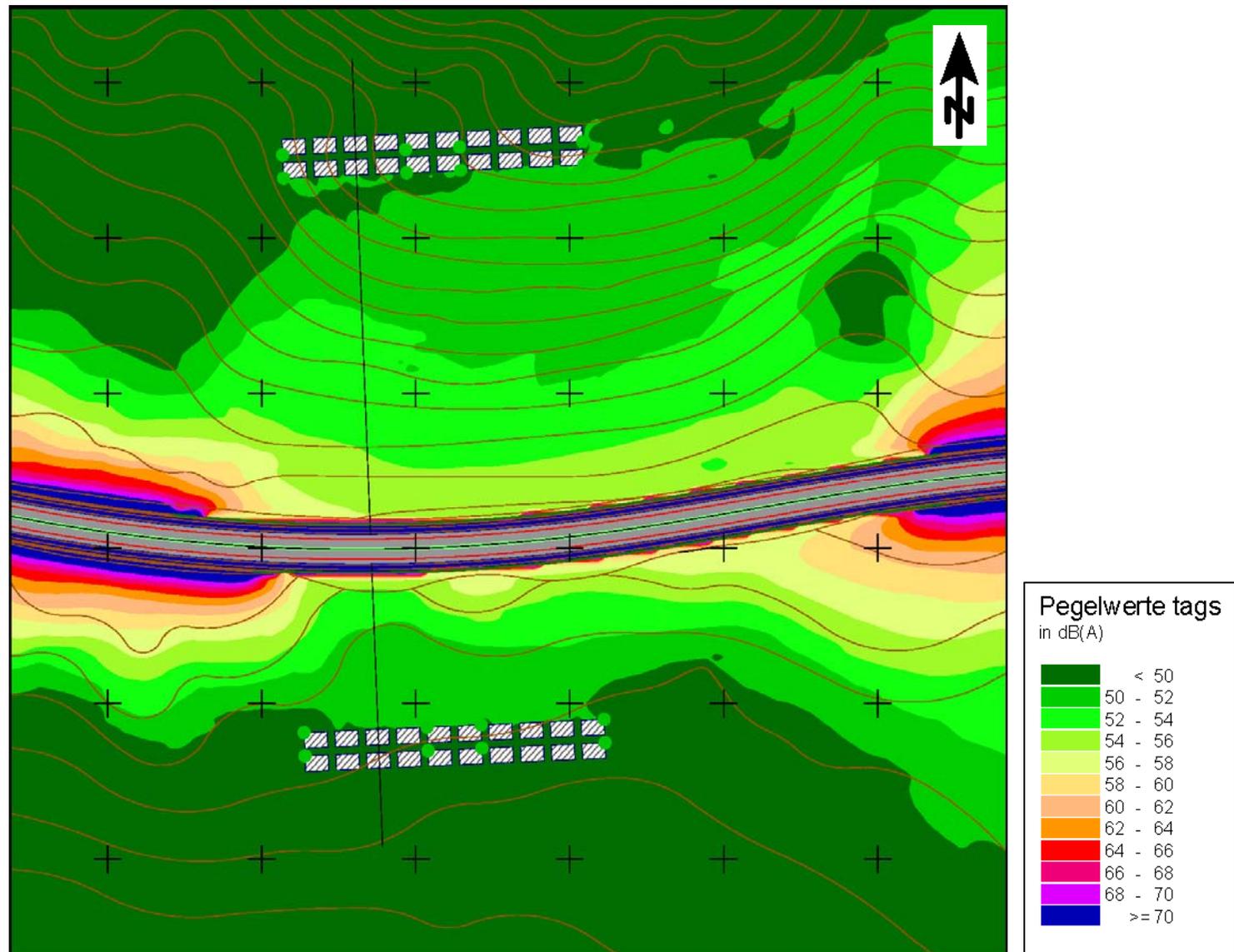


Abbildung 83: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Nacht)

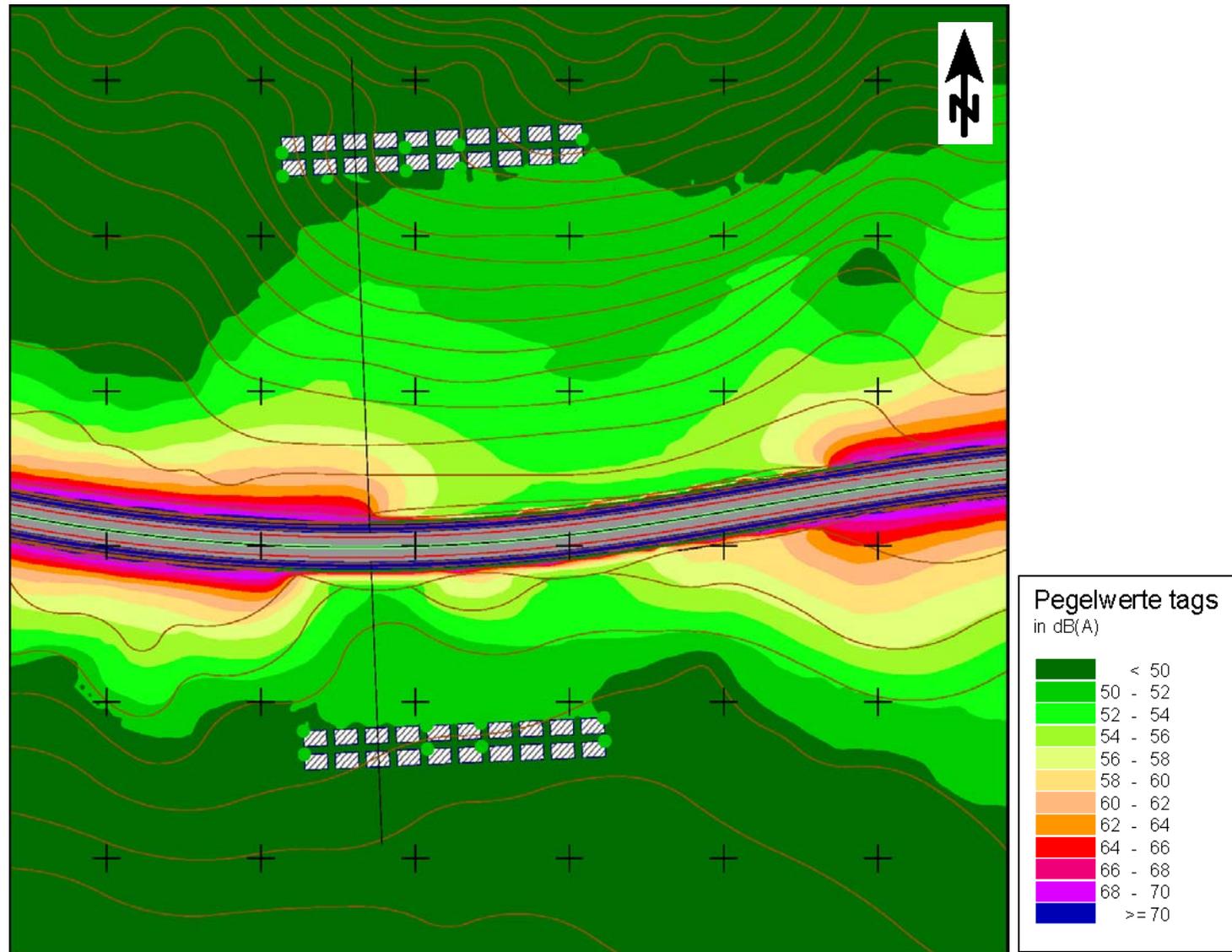


Abbildung 84: Rasterlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Nacht)

### 5.3.2.2 Schnittlärmkarten

Nachfolgend zeigen die Abbildung 85 bis Abbildung 87 die Schnittlärmkarten für die unterschiedlichen Ausführungsvarianten der Deckschicht. In Abbildung 85 (Betonvariante) und Abbildung 86 (Asphaltbetonvariante) sind wieder die unterschiedlichen Höhen für die südliche und die nördliche Lärmschutzwand erkennbar. Die Drainasphaltvariante weist im Bereich der Schnittführung keine Lärmschutzwand auf (siehe Abbildung 87).

Gut erkennbar ist auch, dass im Vergleich zum Beurteilungszeitraum Tag (Abbildung 79 – Abbildung 81) die Abstufungen der Pegelzonen hinter der Lärmschutzwand viel enger ausfallen. Auch die Bereiche hoher Schallpegelwerte sind in der Ausdehnung viel kleiner als deren Vergleichswerte für den Tag, was auf die viel geringere Verkehrsbelastung zurückzuführen ist. Dennoch ist interessant festzustellen, dass die erforderlichen Grenzwerte für den Tag beziehungsweise für die Nacht in etwa zum selben Zeitpunkt erreicht werden, obwohl die Lärmschutzwände eigentlich für den Beurteilungszeitraum Nacht als maßgebender Fall bemessen worden sind.

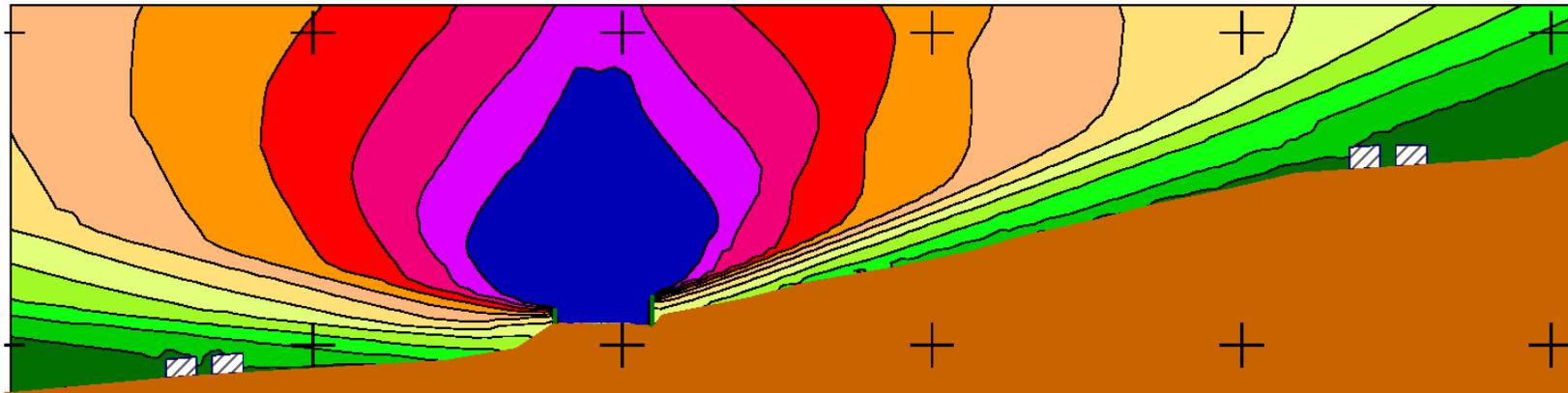


Abbildung 85: Schnittlärmmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Nacht)

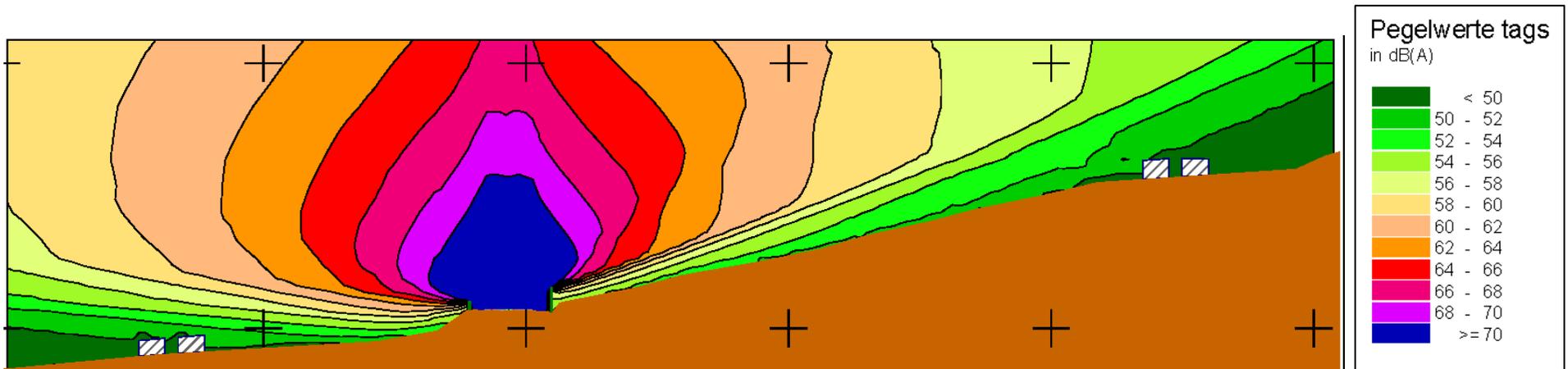


Abbildung 86: Schnittlärmmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Nacht)

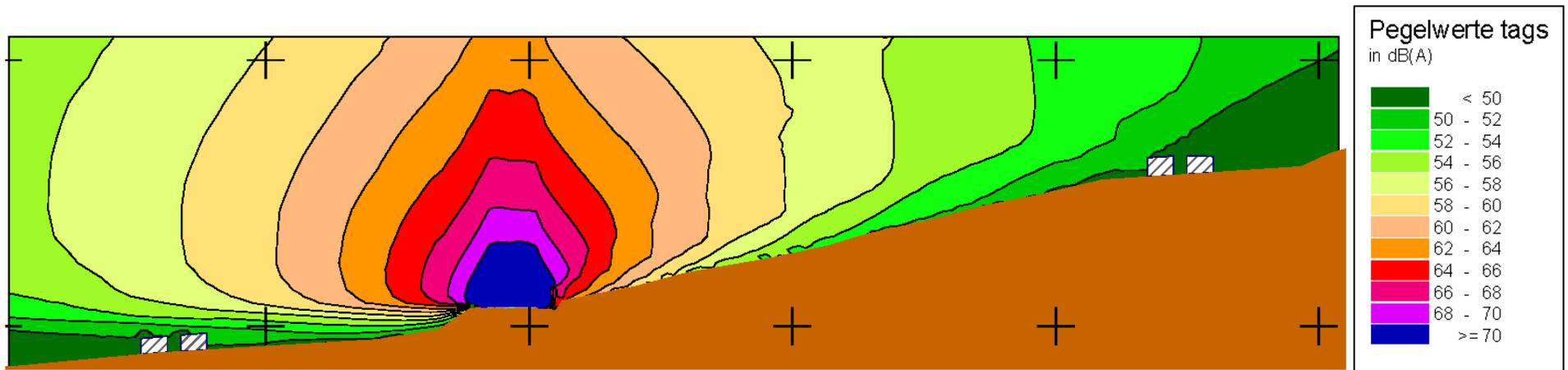


Abbildung 87: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Nacht)

### 5.3.3 Beurteilung der Immissionsorte in der Siedlung

Ausgewertet werden die Ergebnisse der Dauerschallpegel der 16 verschiedenen Immissionspunkte für alle drei Fahrbahndeckschichttypen unter Berücksichtigung einer auf die Erreichung der Immissionsgrenzwerte hin optimierten, geraden Lärmschutzwand zufolge der gegebenen Verkehrsbelastung.

Beim Vergleich der Abbildung 88 (Auswertung für die Variante Beton), Abbildung 89 (Variante Asphaltbetondeckschicht) und Abbildung 90 (Drainasphaltausführung) ist sehr schnell erkennbar, dass die Lärmschutzwände für den Höchstwert des Beurteilungszeitraumes Nacht der einzelnen Siedlungsbereiche optimiert worden sind, da diese als einzige den erforderlichen Grenzwert nicht unterschreiten, sondern genau einhalten. Die betreffenden Objekte sind für alle drei Varianten die gleichen; nämlich für die südliche Siedlung das Obergeschoss des Gebäudes 1, für die nördliche Siedlung das Obergeschoss des Hauses 39.

Die Pegelminderungspotenziale für die einzelnen Kombinationen entsprechen den Grenzwertüberschreitungen der verschiedenen Deckschichtausführungen ohne zusätzliche Lärmschutzmaßnahme und betragen somit für den Beurteilungszeitraum Nacht für die Variante

- Beton 10,1 dB (A),
- Asphaltbeton 7,6 dB (A) und
- Drainasphalt 4,1 dB (A).

Die Lärminderungswerte stellen die maximal zu erreichenden Werte dar und entsprechen mit einer Ausnahme – Variante Beton erzielt bei Tag eine Reduktion von 9,9 dB – auch den möglichen Lärminderungen bei Tage.

Interessant ist auch, dass sich für einzelne Gebäude durch die zusätzlichen Lärmschutzwände Verschlechterungen des ursprünglichen Zustandes ergeben. Davon ist in allen Varianten und zu allen Beurteilungszeiträumen das Gebäude 19 (äußerst östliches Haus in der ersten Reihe) der südlichen Siedlung am meisten betroffen. Die Verschlechterung im Erdgeschoss stellt jedes Mal den Maximalwert und beträgt für die einzelnen Varianten:

- Beton -0,8 dB (A),
- Asphaltbeton -0,6 dB (A) und
- Drainasphalt -0,3 dB (A).

Die Variante Drainasphalt weist hier den „günstigsten“ Wert auf.

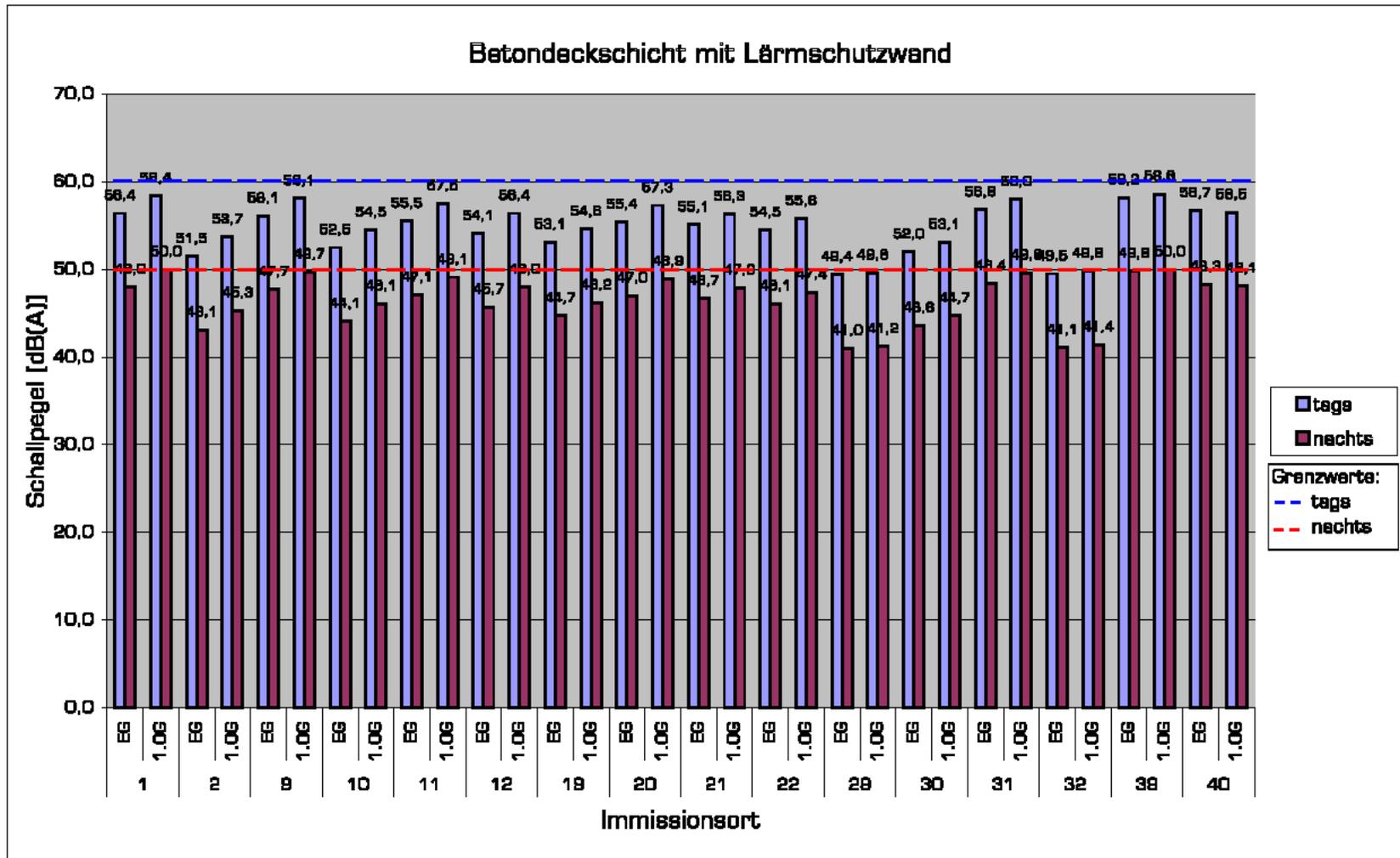


Abbildung 88: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrhandeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Tag und Nacht)

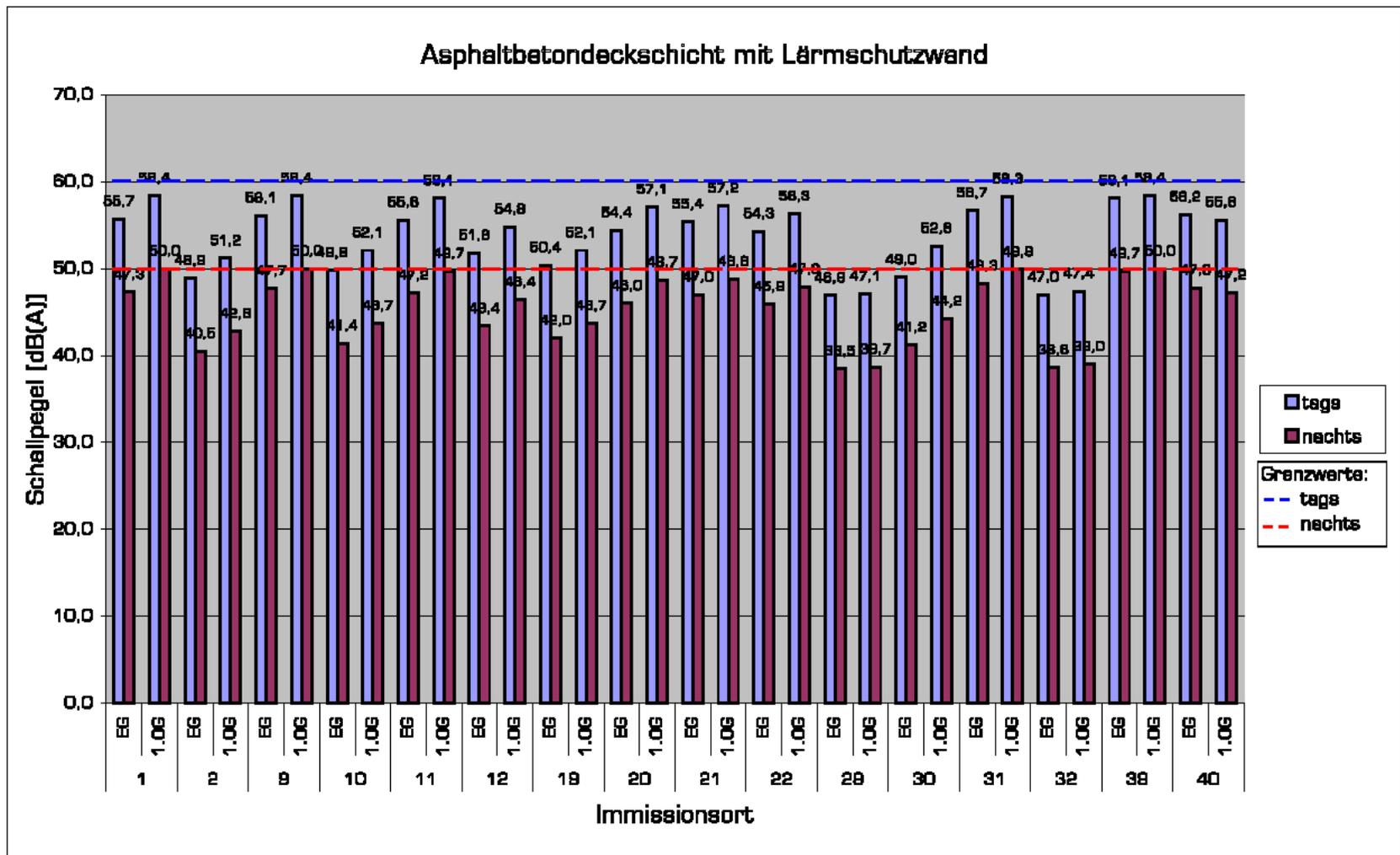


Abbildung 89: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Tag und Nacht)

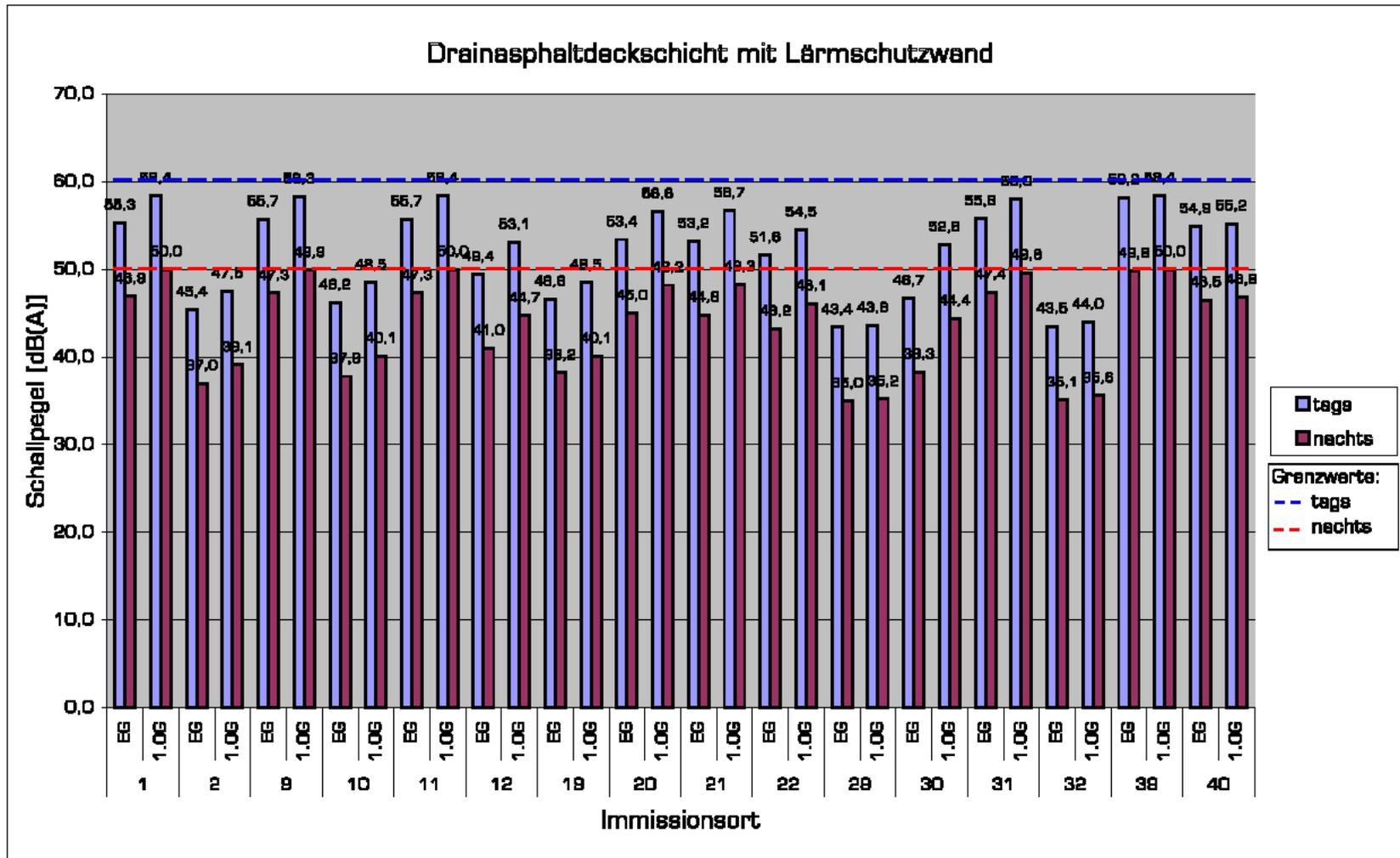


Abbildung 90: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Tag und Nacht)

## 6. VERGLEICHENDE ABSCHÄTZUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN VERSCHIEDENER LÄRMSCHUTZMASSNAHMEN

In diesem Kapitel werden anhand abgeschätzter Kostenannahmen die in dieser Arbeit betrachteten Lärmschutzmaßnahmen lärm mindernde Deckschicht und Lärmschutzwand monetär bewertet und miteinander verglichen.

### 6.1 Annahme der Lärmschutzmaßnahmen

Im Rahmen der Kostenabschätzung werden nicht nur die unterschiedlichen Deckschichttypen und deren optimierte zusätzliche Lärmschutzmaßnahme berücksichtigt, sondern auch die – aufgrund der Lärmschutzwand zusätzlich erforderlichen – Entwässerungsmaßnahmen und Rückhaltesysteme.

Gemäß RVS 05.02.32 [63] muß vor Lärmschutzbauten, deren Bauweise eine Absicherung erfordert, sofern in der Lärmschutzeinrichtung selbst keine ausreichenden Sicherheitsmaßnahmen vorgesehen sind, eine vertikale Leiteinrichtung, in diesem Falle eine Sicherheitsleitschiene, errichtet werden.

Für die Kostenabschätzung wird ein Rückhaltesystem mit Unterfahrschutz der Aufhaltestufe H2 gewählt – genauer eine Kremsbarrier 1 RH 2 der Firma Voestalpine (siehe Abbildung 91).

#### KREMSBARRIER 1 RH2

Rückhaltesystem für Fahrbahnrand  
mit Unterfahrschutz für rammfähige Böden

Typenblatt C105/1

Einsatzfreigabe des BMVIT: GZ. 328,040/34-III/A/8/02

geprüft nach EN 1317-2:

Aufhaltestufe:	H2
Anprallheftigkeitsstufe:	A
Klasse des Wirkungsbereichs:	W5
geprüfte Systemlänge:	15 Felder bzw. 57,00m, ohne Absenkungen

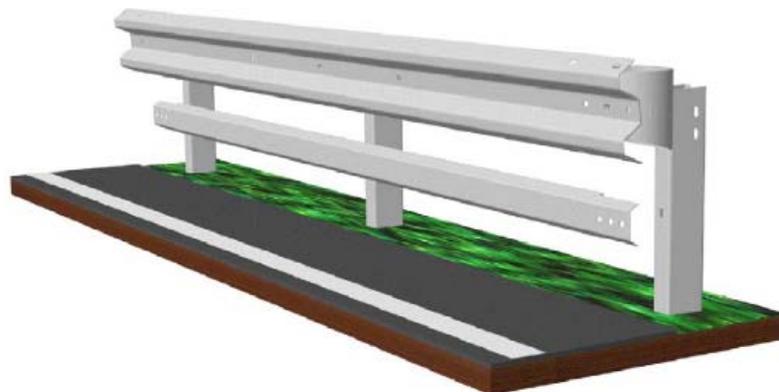


Abbildung 91: Rückhaltesystem mit Unterfahrschutz der Firma Voestalpine

Gemäß RVS 04.04.11 [64] ist grundsätzlich eine oberflächige Ausleitung der Straßenoberflächenwässer und eine flächenhafte Einsickerung über eine Bodenfläche mit tief durchwurzelter Grasnarbe mit darunterliegender mächtiger Filterschicht anzustreben, wenn dies das Belastungspotential schädlicher Stofffrachten, die Anlageverhältnisse der Straße, die Bodenbeschaffenheit und sonstige Umfeldgegebenheiten zulassen.

Da durch die Errichtung der Lärmschutzwände neben den Richtungsfahrbahnen der Autobahn eine freie Versickerung der Oberflächenwässer über etwaige Böschungen verhindert wird, muß das Wasser gesammelt und abgeleitet werden. Dies bedeutet, dass ein Entwässerungssystem geplant und errichtet werden muß.

Im Rahmen der Entwässerungssysteme beschränkt sich die Betrachtung allerdings auf die im Kanalbau gewichtigsten Positionen – nämlich die Rohrleitungen und die Schächte.

Gemäß RVS 03.08.65 [65] betragen die Minstdurchmesser für Straßenkanäle im Freiland bei

- Längskanälen (z.B. Mittelstreifenentwässerung oder Seitenkanäle) aus
  - Betonrohren DN 400
  - PVC- Kanalrohren DN 250
- Querausleitungen von Mittelstreifenentwässerungen
  - Betonrohren DN 500
  - PVC- Kanalrohren DN 300

Für die Ausführung der Transportleitungen werden Betonmuffenrohre inklusive Betonaufleger ausgewählt. Die Entwässerungsstränge im Bereich der Lärmschutzwände haben im Anfangsbereich einen gewählten Rohrdurchmesser von DN 500. Aufgrund der mit zunehmender Fläche ansteigenden zu transportierenden Wassermenge wird nach 100 Metern auf einen Durchmesser DN 600 aufgeweitet. Nach weiteren 150 Metern erfolgt eine Erhöhung auf einen Durchmesser DN 800. Sollte nach weiteren 150 Metern eine zusätzliche Rohrleitung benötigt werden, so wird diese in einem Durchmesser DN 1000 ausgeführt.

Die Sickerleitungen des Huckepacksystems werden mit PVC- Teilsickerrohren ausgeführt. Als Durchmesser werden – im Falle einer darunterliegenden Transportleitung mit Durchmesser DN 500 oder DN 600 – ein DN 200 und ein DN 250 – für alle anderen Transportleitungen – gewählt.

Schächte werden alle 50 Meter angeordnet und werden je nach den angeschlossenen Rohrleitungen mit unterschiedlichen Bodenplatten und Schachtdurchmessern ausgeführt.

Für alle Berechnungsvarianten ist die gesamte Länge der trassierten Autobahn herangezogen worden, da angenommen wird, dass in einem Baulos der gleiche Deckschichttyp verlegt wird.

Für die unterschiedlichen Deckschichttypen werden folgende Aufbauten angenommen:

- Fahrbahndeckschichttyp Beton (Lastklasse S):
  - 25 cm Betondecke
  - 5 cm Bituminöse Tragdeckschicht
  - 45 cm ungebundene Tragschichte
- Fahrbahndeckschichttyp Asphalt Variante Asphaltbeton (Lastklasse S):
  - 4 cm bituminöse Deckschicht
  - 11 cm Bituminöse Tragschicht
  - 10 cm Bituminöse Tragschicht
  - 20 cm mechanisch stabilisierte Tragschicht (Kantkorn)
  - 30 cm ungebundene Tragschicht
- Fahrbahndeckschichttyp Asphalt Variante Drainasphalt (Lastklasse S):
  - 4 cm bituminöse Deckschicht
  - 12 cm Bituminöse Tragschicht
  - 11 cm Bituminöse Tragschicht
  - 20 cm mechanisch stabilisierte Tragschicht (Kantkorn)
  - 30 cm ungebundene Tragschicht

Da für die ungebundenen Tragschichten für alle drei Varianten des Straßenaufbaus praktisch gleich sind, werden diese bei der Kalkulation der Lebenszykluskosten nicht weiter berücksichtigt.

Aus der in Kapitel 4 dargelegten Berechnung ergeben sich verschiedene Lärmschutzwandoptimierungen für die unterschiedlichen Fahrbahndeckschichten. Tabelle 20 zeigt die Länge der unterschiedlichen Wandelemente, Tabelle 21 gibt die daraus resultierenden Flächen an.

**Tabelle 20: Länge der Lärmschutzwand für die unterschiedlichen Deckschichttypen**

Länge Lärm- schutz- wandhöhe [m1]	Fahrbahndeckschichttyp								
	Beton			Asphaltbeton			Drainasphalt		
	Süd	Nord	Gesamt	Süd	Nord	Gesamt	Süd	Nord	Gesamt
	Länge	Länge	Länge	Länge	Länge	Länge	Länge	Länge	Länge
	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]
0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,51	0,00	11,51
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	200,54	0,00	200,54
1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,15	0,00	96,15
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,12	0,00	20,12
2,50	0,00	0,00	0,00	85,71	0,00	85,71	0,00	0,00	0,00
3,00	9,88	0,00	9,88	180,99	0,00	180,99	0,00	0,00	0,00
3,50	0,00	0,00	0,00	140,99	0,00	140,99	0,00	0,00	0,00
4,00	14,82	0,00	14,82	20,43	0,00	20,43	0,00	0,00	0,00
4,50	205,44	0,00	205,44	15,05	0,00	15,05	0,00	0,00	0,00
5,00	260,67	0,00	260,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,50	45,71	0,00	45,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,00	40,59	0,00	40,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,54	6,54
9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,38	55,38
9,50	0,00	64,13	64,13	0,00	49,54	49,54	0,00	245,57	245,57
10,00	0,00	130,62	130,62	0,00	239,03	239,03	0,00	0,00	0,00
10,50	0,00	190,02	190,02	0,00	207,87	207,87	0,00	0,00	0,00
11,00	0,00	246,42	246,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11,50	0,00	14,81	14,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GESAMT	577,11	646,00	1.223,11	443,17	496,44	939,61	328,32	307,49	635,81
Kontrolle			1.223,11			939,61			635,81
			[m1]			[m1]			[m1]

**Tabelle 21: Lärmschutzwandfläche für die unterschiedlichen Deckschichttypen**

Fläche Lärm- schutz- wandhöhe	Fahrbahndeckschichttyp								
	Beton			Asphaltbeton			Drainasphalt		
	Süd	Nord	Gesamt	Süd	Nord	Gesamt	Süd	Nord	Gesamt
	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche
[m1]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]
0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,76	0,00	5,76
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	200,54	0,00	200,54
1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	144,23	0,00	144,23
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,24	0,00	40,24
2,50	0,00	0,00	0,00	214,28	0,00	214,28	0,00	0,00	0,00
3,00	29,64	0,00	29,64	542,97	0,00	542,97	0,00	0,00	0,00
3,50	0,00	0,00	0,00	493,47	0,00	493,47	0,00	0,00	0,00
4,00	59,28	0,00	59,28	81,72	0,00	81,72	0,00	0,00	0,00
4,50	924,48	0,00	924,48	67,73	0,00	67,73	0,00	0,00	0,00
5,00	1.303,35	0,00	1.303,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,50	251,41	0,00	251,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,00	243,54	0,00	243,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,59	55,59
9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	498,42	498,42
9,50	0,00	609,24	609,24	0,00	470,63	470,63	0,00	2.332,92	2.332,92
10,00	0,00	1.306,20	1.306,20	0,00	2.390,30	2.390,30	0,00	0,00	0,00
10,50	0,00	1.995,21	1.995,21	0,00	2.182,64	2.182,64	0,00	0,00	0,00
11,00	0,00	2.710,62	2.710,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11,50	0,00	170,32	170,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GESAMT	2.811,7	6.791,6	9.603,3	1.400,2	5.043,6	6.443,7	390,8	2.886,9	3.277,7
Kontrolle			9.603,3			6.443,7			3.277,7
			[m2]			[m2]			[m2]

In Tabelle 22 sind die aufgrund der Lärmschutzwände erforderlichen zusätzlichen Entwässerungs- und Rückhaltemaßnahmen aufgeführt.

Tabelle 22: Entwässerungs- und Rückhaltemaßnahmen für die unterschiedlichen Deckschichttypen

Entwässerung		EP	Beton			Asphaltbeton			Drainasphalt		
			Süd	Nord	SUMME	Süd	Nord	SUMME	Süd	Nord	SUMME
		[€/m1]	[m1]	[m1]	[€]	[m1]	[m1]	[€]	[m1]	[m1]	[€]
Rohr	DN 500	39,0	100,00	100,00	7.800,00	100,00	100,00	7.800,00	100,00	100,00	7.800,00
	DN 600	50,0	150,00	150,00	15.000,00	150,00	150,00	15.000,00	150,00	150,00	15.000,00
	DN 800	75,0	150,00	150,00	22.500,00	150,00	150,00	22.500,00	78,32	57,49	10.185,75
	DN 1000	98,0	177,11	246,00	41.464,78	43,17	96,44	13.681,78			0,00
Schachtboden	HG DN 500	235,0	3,00	3,00	1.410,00	3,00	3,00	1.410,00	3,00	3,00	1.410,00
	HG DN 600	235,0	3,00	3,00	1.410,00	3,00	3,00	1.410,00	3,00	3,00	1.410,00
	HG DN 800	790,0	3,00	3,00	4.740,00	3,00	3,00	4.740,00	2,00	2,00	3.160,00
	HG DN 1000	1.000,0	4,00	5,00	9.000,00	1,00	2,00	3.000,00			0,00
Schachtring	S DN 1000	120,0	12,00	12,00	2.880,00	12,00	12,00	2.880,00	10,00	10,00	2.400,00
	S DN 1200	185,0	8,00	10,00	3.330,00	2,00	4,00	1.110,00	0,00	0,00	0,00
Schachtkonus	S DN 1000	75,0	9,00	9,00	1.350,00	9,00	9,00	1.350,00	8,00	8,00	1.200,00
	S DN 1200	115,0	4,00	5,00	1.035,00	1,00	2,00	345,00	0,00	0,00	0,00
Ausgleichsring	600 / 50	19,0	13,00	14,00	513,00	10,00	11,00	399,00	8,00	8,00	304,00
	600 / 100	22,0	7,00	7,00	308,00	5,00	6,00	242,00	4,00	4,00	176,00
Sickerrohr	DN 200	12,0	250,00	250,00	6.000,00	250,00	250,00	6.000,00	250,00	250,00	6.000,00
	DN 250	35,0	327,11	396,00	25.308,85	193,17	246,44	15.386,35	78,32	57,49	4.753,35
AZ Seitenzulauf	DN 200	82,0	12,00	12,00	1.968,00	12,00	12,00	1.968,00	12,00	12,00	1.968,00
	DN 250	82,0	14,00	16,00	2.460,00	8,00	10,00	1.476,00	4,00	4,00	656,00
Schachtabdeckung	Rd. DN 600	130,0	13,00	14,00	3.510,00	10,00	11,00	2.730,00	8,00	8,00	2.080,00
AZ Verschrauben	Rd. DN 600	90,0	13,00	14,00	2.430,00	10,00	11,00	1.890,00	8,00	8,00	1.440,00
<b>SUMME</b>					<b>154.417,63</b>			<b>105.318,13</b>			<b>59.943,10</b>
					<b>[€]</b>			<b>[€]</b>			<b>[€]</b>
Rückhaltesystem		EP	Beton			Asphaltbeton			Drainasphalt		
			Süd	Nord	SUMME	Süd	Nord	SUMME	Süd	Nord	SUMME
		[€/m1]	[m1]	[m1]	[€]	[m1]	[m1]	[€]	[m1]	[m1]	[€]
RHS SLS	H2	75,0	577,11	646,00	<b>91.733,25</b>	443,17	496,44	<b>70.470,75</b>	328,32	307,49	<b>47.685,75</b>
					<b>[€]</b>			<b>[€]</b>			<b>[€]</b>

## 6.2 Betrachtung eines Lebenszyklusansatzes

Für alle Baumaßnahmen werden schließlich nicht nur die Errichtungskosten herangezogen, sondern die Lebenszykluskosten. Allerdings werden die Nutzerkosten bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Ziel eines Lebenszyklusansatzes bei einer monetären Bewertung verschiedener Investitionen ist es, nicht nur die offensichtlichen Errichtungskosten zu betrachten, sondern die gesamten Kosten des Lebenszyklus zu ermitteln. Als Lebenszyklus wird die Lebenszeit der Baumaßnahme bezeichnet, die je nach Typ, Material, Einbauverfahren etc. unterschiedlich sein kann.

Beim folgenden Vergleich setzen sich die Lebenszykluskosten aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- erstmalige Errichtung,
- Instandhaltung sowie
- bauliche Erneuerung.

Zudem werden die zukünftig anfallenden Kostenwerte valorisiert, also einer Inflationsrate unterzogen. Für die Vergleiche wird eine Diskontierung von konstant 2,5 % pro Jahr gewählt.

Die der Berechnung zugrundegelegten Lebenszyklen der unterschiedlichen Bauteile betragen wie folgt:

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| ➤ Betondeckschicht           | 30 Jahre [62]                                   |
| ➤ Bituminöse Tragdeckschicht | 30 Jahre  |
| ➤ Asphaltbetondeckschicht    | 15 Jahre [44]                                   |
| ➤ Drainasphaltdeckschicht    | 10 Jahre [45]                                   |
| ➤ Bituminöse Tragschicht     | 30 Jahre (angenommene realistische Lebensdauer) |
| ➤ Lärmschutzwand             | 30 Jahre [44]                                   |
| ➤ Entwässerungssystem        | 30 Jahre  |
| ➤ Rückhaltesysteme           | 30 Jahre  |

Um die drei verschiedenen Varianten sinnvoll vergleichen zu können, muss ein Zeitraum betrachtet werden, in welchem alle Varianten zumindest einen vollen Lebenszyklus durchwandert haben. Zudem sollten die Lebensdauern aller untersuchten Bauteile ganzzahlig durch den gewählten Betrachtungszeitraum teilbar sein. In diesem Fall wird deshalb ein Zeitraum von 30 Jahren bei der Analyse herangezogen.

Dabei wird vereinfacht davon ausgegangen, dass die Asphaltbefestigung – entgegen der Festlegung in der RVS – eine maximale strukturelle Lebensdauer von ebenfalls 30 Jahren aufweist.

## 6.3 Monetäre Bewertung

Prinzipiell muss festgehalten werden, dass nur mit grob abgeschätzten Kostenwerten gerechnet werden kann, da exakte Preise immer von Fall zu Fall betrachtet werden müssen und zusätzlich von der schlussendlichen Ausführung mitbestimmt werden. Einige nicht mit Literatur belegte Kostenwerte sind aufgrund von Erfahrungswerten angenommen.

Für alle Berechnungsvarianten ist die gesamte Länge der trassierten Autobahn herangezogen worden, weil angenommen wird, dass in einem Baulos der gleiche Deckschichttyp verlegt wird. Da für die ungebundenen Tragschichten für alle drei Varianten des Straßenaufbaus praktisch gleich sind, werden diese bei der Kalkulation der Lebenszykluskosten nicht weiter berücksichtigt.

### 6.3.1 Abschätzung der Errichtungskosten

Die Kostenwerte für die Errichtung beinhalten eine mögliche Abschätzung des Preises für die einmalige Errichtung des jeweiligen Bauteils. Für die Berechnung werden folgende Preise herangezogen:

(Anmerkung: Diese realistischen Preisannahmen können naturgemäß von Projekt zu Projekt stark variieren; sie dienen nur für die gegenständliche Vergleichsanalyse.)

- Deckschichttypen inklusive bituminöser Tragschicht
  - ✓ Variante Betondeckschicht 36,00 [€/m<sup>2</sup>]
  - ✓ Variante Asphaltbetondeckschicht 34,00 [€/m<sup>2</sup>]
  - ✓ Variante Drainasphaltdeckschicht 35,00 [€/m<sup>2</sup>]
- Lärmschutzwand [48]
  - ✓ 0 – 2 m 180,00 [€/m<sup>2</sup>]
  - ✓ 2 – 4 m 240,00 [€/m<sup>2</sup>]
  - ✓ 4 – 6 m 320,00 [€/m<sup>2</sup>]
  - ✓ 6 – 8 m 440,00 [€/m<sup>2</sup>]
  - ✓ 8 – 10 m 680,00 [€/m<sup>2</sup>]
  - ✓ 10 – 12 m 1.050,00 [€/m<sup>2</sup>]
  - ✓ > 12 m 1.600,00 [€/m<sup>2</sup>]
- Entwässerungssystem
  - ✓ Betonmuffenrohr DN 500 39,00 [€/m<sup>1</sup>]
  - ✓ Betonmuffenrohr DN 600 50,00 [€/m<sup>1</sup>]
  - ✓ Betonmuffenrohr DN 800 75,00 [€/m<sup>1</sup>]
  - ✓ Betonmuffenrohr DN 1000 98,00 [€/m<sup>1</sup>]
  - ✓ Schachtboden DN 1000; HG DN 500 235,00 [€/Stk]
  - ✓ Schachtboden DN 1000; HG DN 600 235,00 [€/Stk]

✓ Schachtboden DN 1000; HG DN 800	790,00 [€/Stk]
✓ Schachtboden DN 1200; HG DN 1000	1.000,00 [€/Stk]
✓ Schachtring DN 1000	120,00 [€/Stk]
✓ Schachtring DN 1200	185,00 [€/Stk]
✓ Schachtkonus 1000/600/600	75,00 [€/Stk]
✓ Schachtkonus 1200/600/600	115,00 [€/Stk]
✓ Ausgleichsring 600/50	19,00 [€/Stk]
✓ Ausgleichsring 600/100	22,00 [€/Stk]
✓ Vollsickerrohr PVC DN 200	12,00 [€/m1]
✓ Mehrzweckrohr PVC DN 250	35,00 [€/m1]
✓ AZ Seitenzulauf DN 200	82,00 [€/Stk]
✓ AZ Seitenzulauf DN 250	82,00 [€/Stk]
✓ Schachtabdeckung Rd.DN 600; 400 kN	130,00 [€/Stk]
✓ AZ Verschrauben Schachtabdeckung	90,00 [€/Stk]
➤ Rückhaltesystem Stahlleitschiene H2	75,00 [€/m1]

Alle Werte werden auf das Jahr 2008 bezogen und stellen endgültige Positionspreise dar.

### 6.3.2 Abschätzung der Erhaltungskosten

Die in den Lebenszykluskosten berücksichtigte Erhaltung setzt sich aus folgenden Teilen zusammen:

- Instandhaltung und
- bauliche Erneuerung.

#### 6.3.2.1 Abschätzung der Kosten für die Instandhaltung pro Jahr

Die Instandhaltung umfasst die Kosten für kleinflächige bauliche Maßnahmen, die das Fortschreiten von Schäden verhindern beziehungsweise verlangsamen sollen (zum Beispiel: Risse vergießen, Fugenpflege bei Betondecken, etc.).

Die abgeschätzten Kosten sind für den Zeitraum eines Jahres ermittelt und werden für den Lebenszyklus jedes Jahr mit dem Diskontierungssatz aufgerechnet

➤ Betondeckschicht	0,10 [€/m2]	[47]
➤ Asphaltbetondeckschicht	0,15 [€/m2]	[47]
➤ Drainasphaltdeckschicht	0,20 [€/m2]	
➤ Lärmschutzwand	1,00 [% der Baukosten]	[44]
➤ Entwässerungssystem	1,00 [% der Baukosten]	
➤ Rückhaltesystem	1,00 [% der Baukosten]	

### 6.3.2.2 Abschätzung der Kosten für die bauliche Erneuerung und Instandsetzung

Die Kosten für die bauliche Erneuerung betreffen die beiden Asphaltbauweisen, da sowohl die Asphaltbetondeckschicht als auch die Drainasphaltdeckschicht aufgrund deren kürzerer Lebensdauer noch vor dem Ablauf der 30 Jahre erneuert werden müssen. In den Kosten sind der Abbruch der vorhandenen Deckschicht und die neuerliche Errichtung inkludiert. Hierbei wird angenommen, dass die bituminöse Tragschicht aufgrund der höheren Liegezeit nicht erneuert werden muß und somit keine Kosten verursacht.

Folgende Kosten werden im Rahmen der Abschätzung angenommen:

(Anmerkung: Diese Kosten beinhalten nur jene für den Abtrag und die Neuerrichtung der Deckschicht.)

- Asphaltbetondeckschicht            21,20 [€/m<sup>2</sup>]
- Drainasphaltdeckschicht            26,20 [€/m<sup>2</sup>]

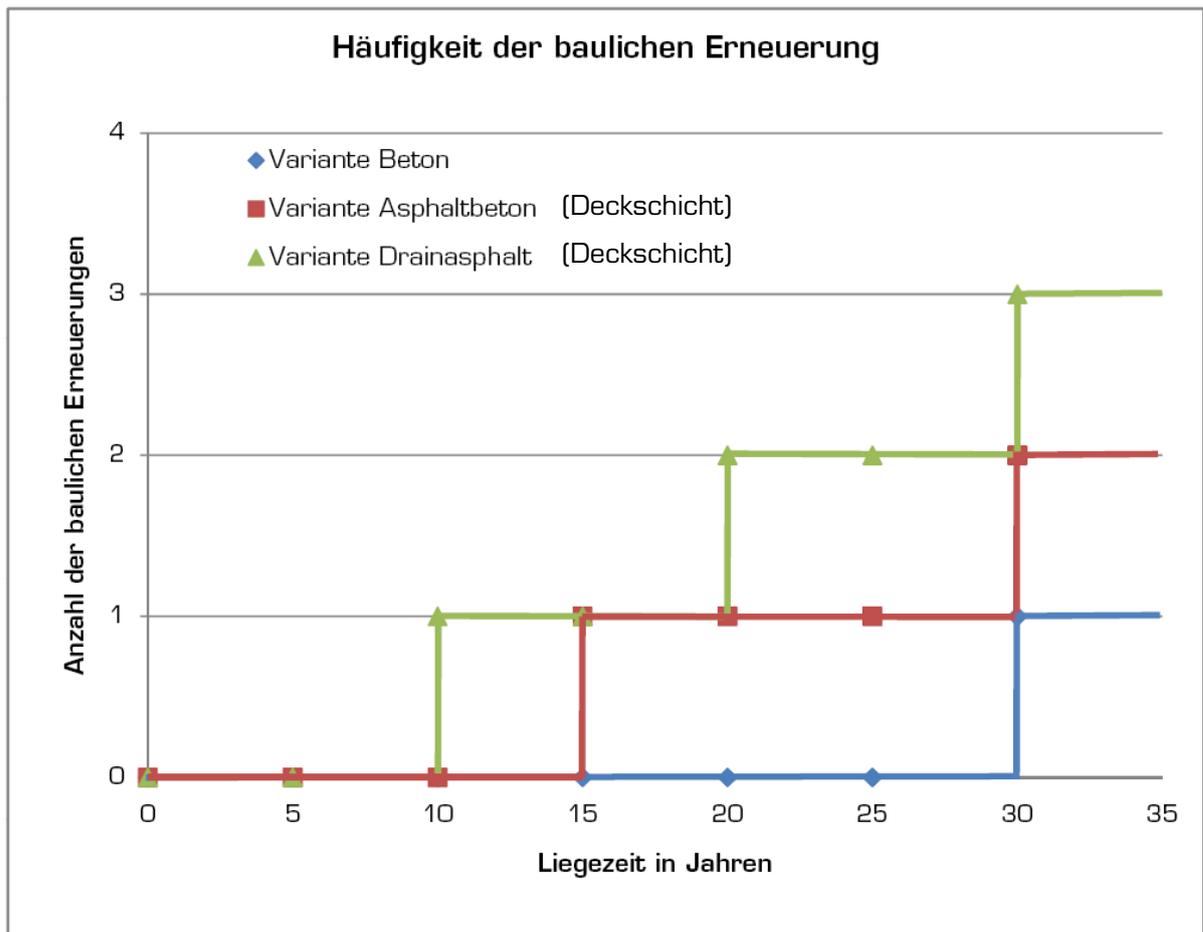
Die bauliche Instandsetzung stellt jene Kosten dar, die am Ende des Lebenszyklus anfallen, um einen neuerlichen Zyklus zu starten, das heißt eine neuerliche Erbauung. Diese Erneuerungskosten können nun – aufgrund gewisser bereits bei der ersten Errichtung erbrachter Leistungen – billiger oder zumindest gleich teuer sein wie die Ersterrichtungskosten – wie dies zum Beispiel bei der Lärmschutzwand, dem Entwässerungssystem und den Rückhaltesystemen der Fall ist. Andererseits können die Erneuerungskosten – aufgrund zu erbringender Mehrleistungen – wie zum Beispiel das Abfräsen der „alten“ Deckschichte – auch höhere Werte aufweisen, als jene der Errichtung – wie zum Beispiel bei den verschiedenen Deckschichttypen.

Folgende Kosten werden im Rahmen der Abschätzung angenommen:

(Anmerkung: Die ungebundenen Tragschichten bleiben verwendbar.)

- Betondeckschicht                    53,30 [€/m<sup>2</sup>]    [47]
- Asphaltbetondeckschicht            51,00 [€/m<sup>2</sup>]    [47]
- Drainasphaltdeckschicht            52,10 [€/m<sup>2</sup>]
- Lärmschutzwand                    100,00 [% der Baukosten]
- Entwässerungssystem                100,00 [% der Baukosten]
- Rückhaltesystem                    100,00 [% der Baukosten]

Die Zyklen, in denen die bauliche Erneuerung vorgenommen werden muss, hängen vom Lebenszyklus – das heißt von der erwarteten Lebensdauer der Materialien – ab. Grundsätzlich ist für die vorliegende Berechnung mindestens eine bauliche Erneuerung für alle Bauteile berechnet, da als Betrachtungszeitraum die maximale Liegezeit der drei Deckschichttypen angenommen wird und betreffende Deckschicht somit an deren Ende erneuert werden muss. Abbildung 92 zeigt die verschiedenen Häufigkeiten der erforderlichen Erneuerung für die drei Deckschichttypen.



**Abbildung 92: Häufigkeit der baulichen Erneuerung für die verschiedenen Deckschichttypen**

Für die in die Berechnung eingehenden Lärmschutzwände und Nebenleistungen (Entwässerungssystem und Rückhaltesysteme) wird – wie im Falle der Betondeckschicht – eine Erneuerung am Ende der 30 Jahre – also am Ende des Lebenszyklus – eingerechnet.

## 6.4 Auswertung der berechneten Lebenszykluskosten

Tabelle 23 zeigt die Lebenszykluskosten bezogen auf 30 Jahre für die verschiedenen Deckschichttypsysteme und deren optimierte Lärmschutzwände sowie die daraus resultierenden Entwässerungsmaßnahmen und Rückhaltesysteme. Am Ende des Lebenszyklus ist für alle betroffenen Bauteile eine letzte bauliche Erhaltungsmaßnahme eingerechnet, sodass nach 30 Jahren wieder der Ursprungszustand hergestellt wird.

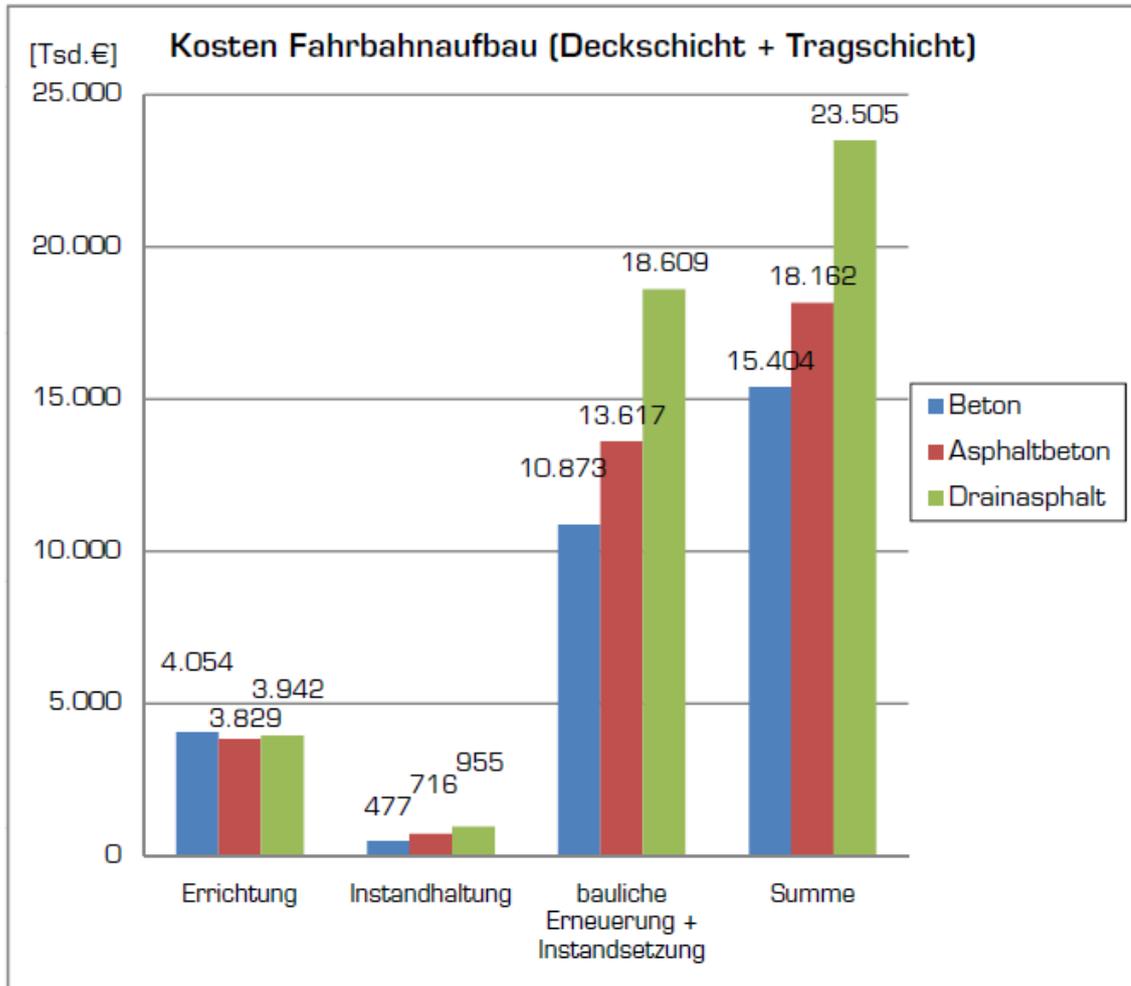
Für alle Berechnungsvarianten ist die gesamte Länge der trassierten Autobahn herangezogen worden, da angenommen wird, dass in einem Baulos der gleiche Deckschichttyp verlegt wird.

**Tabelle 23: Abgeschätzte Lebenszykluskosten für die unterschiedlichen Deckschichttypen**

[in Tsd.€]	Variante mit Deckschichttyp <b>BETON</b>				
	Fahrbahn- aufbau	Lärmschutz- wand	Entwässerung	Rückhalte- system	Summe
Errichtung	4.054,24	7.832,34	154,42	91,73	12.132,73
Instandhaltung	477,27	3.319,30	65,44	38,88	3.900,89
bauliche Erneuerung	10.872,76	14.187,20	279,71	166,16	25.505,82
<b>Summe</b>	<b>15.404,27</b>	<b>25.338,84</b>	<b>499,57</b>	<b>296,77</b>	<b>41.539,44</b>
[in Tsd.€]	Variante mit Deckschichttyp <b>ASPHALTBETON</b>				
	Fahrbahn- aufbau	Lärmschutz- wand	Entwässerung	Rückhalte- system	Summe
Errichtung	3.829,01	5.469,60	105,32	70,47	9.474,40
Instandhaltung	715,90	2.317,99	44,63	29,87	3.108,39
bauliche Erneuerung	13.616,84	9.907,43	190,77	127,65	23.842,68
<b>Summe</b>	<b>18.161,75</b>	<b>17.695,02</b>	<b>340,72</b>	<b>227,98</b>	<b>36.425,47</b>
[in Tsd.€]	Variante mit Deckschichttyp <b>DRAINASPHALT</b>				
	Fahrbahn- aufbau	Lärmschutz- wand	Entwässerung	Rückhalte- system	Summe
Errichtung	3.941,63	2.033,45	59,94	47,69	6.082,70
Instandhaltung	954,54	861,76	25,40	20,21	1.861,91
bauliche Erneuerung	18.609,14	3.683,31	108,58	86,38	22.487,40
<b>Summe</b>	<b>23.505,30</b>	<b>6.578,51</b>	<b>193,93</b>	<b>154,27</b>	<b>30.432,01</b>

Zwar sind die Lebenszykluskosten für die Drainasphaltdeckschicht – vor allem aufgrund der um ein Drittel kürzeren Liegezeit – viel höher als jene für Beton- oder Asphaltbetonvarianten, jedoch kann dieser Nachteil durch eine massive Kostenersparnis bei der zusätzlich erforderlichen Lärmschutzwand mehr als ausgeglichen werden.

Werden nur die möglichen Kosten der unterschiedlichen Deckschichtausführungen zur Beurteilung herangezogen, so stellt sich die Betondeckschicht als beste Variante dar (siehe Abbildung 93).



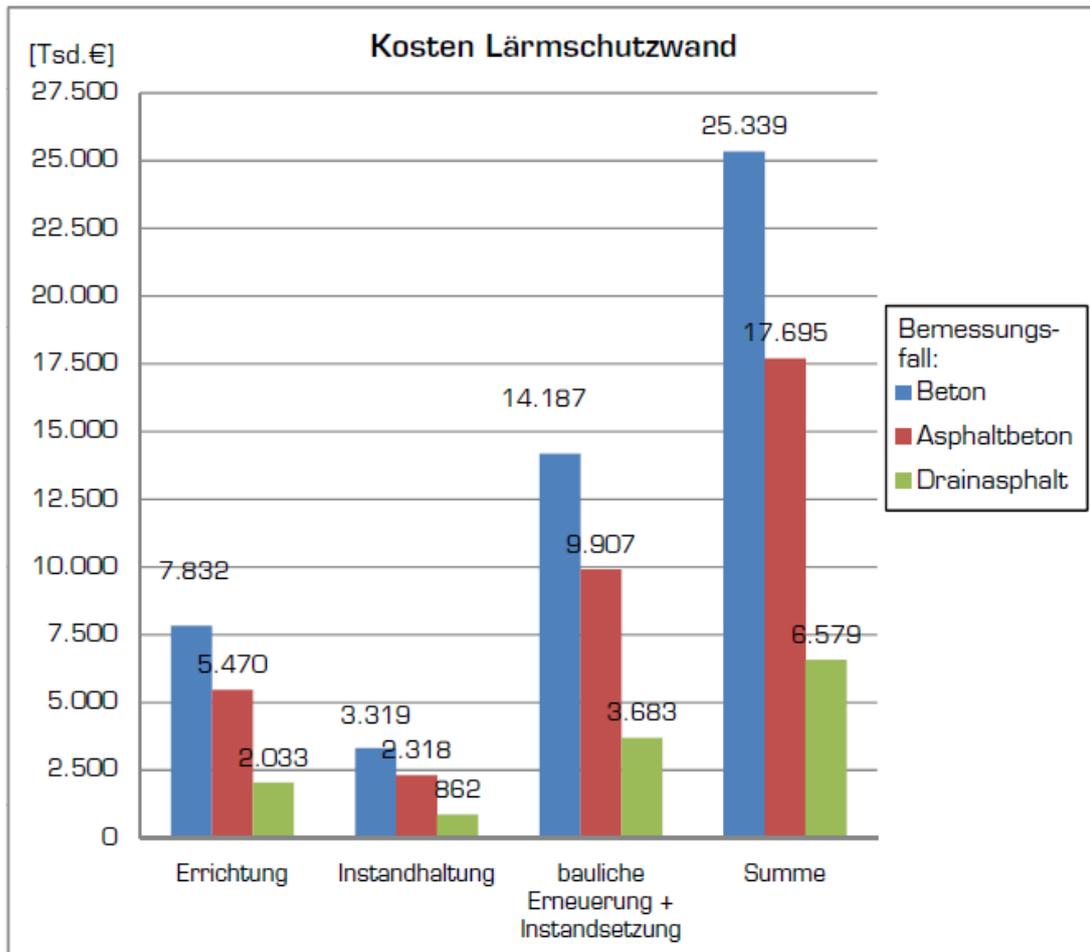
**Abbildung 93: Abgeschätzte Lebenszykluskosten der verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen**

Bei einem Vergleich der unterschiedlichen Werte ist feststellbar, dass die Betondecke mit der darunter eingebauten, bituminösen Tragdeckschicht vor allem aufgrund der geringen Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten die billigste Deckschichtausführung darstellt. Zudem weist diese die höchste Liegezeit auf.

Zwar ist bei der Errichtung der preisliche Unterschied zwischen einer Drainasphaltauflage und einer Betonfahrbahn noch nicht enorm, jedoch bedeutet die geringere Liegezeit der Drainasphaltauflage von nur 10 Jahren zu 30 Jahren der Betondeckschicht, dass im Bereich der baulichen Erneuerung eine Betonvariante billiger wäre als jene aus Drainasphalt. Hinzu kommen noch die höheren Kosten der Instandhaltung – vor allem aufgrund der höheren Kosten im Winterdienst und weil schadhafte Stellen der Deckschicht großflächiger ausgebessert werden müssen.

Insgesamt belaufen sich die möglichen Lebenszykluskosten für die unterschiedlichen Fahrbahndeckschichtvarianten zu:

- Betondeckschicht 15,404 [Mio.€],
- Asphaltbetondeckschicht 18,162 [Mio.€] und
- Drainasphaltauflage 23,505 [Mio.€].



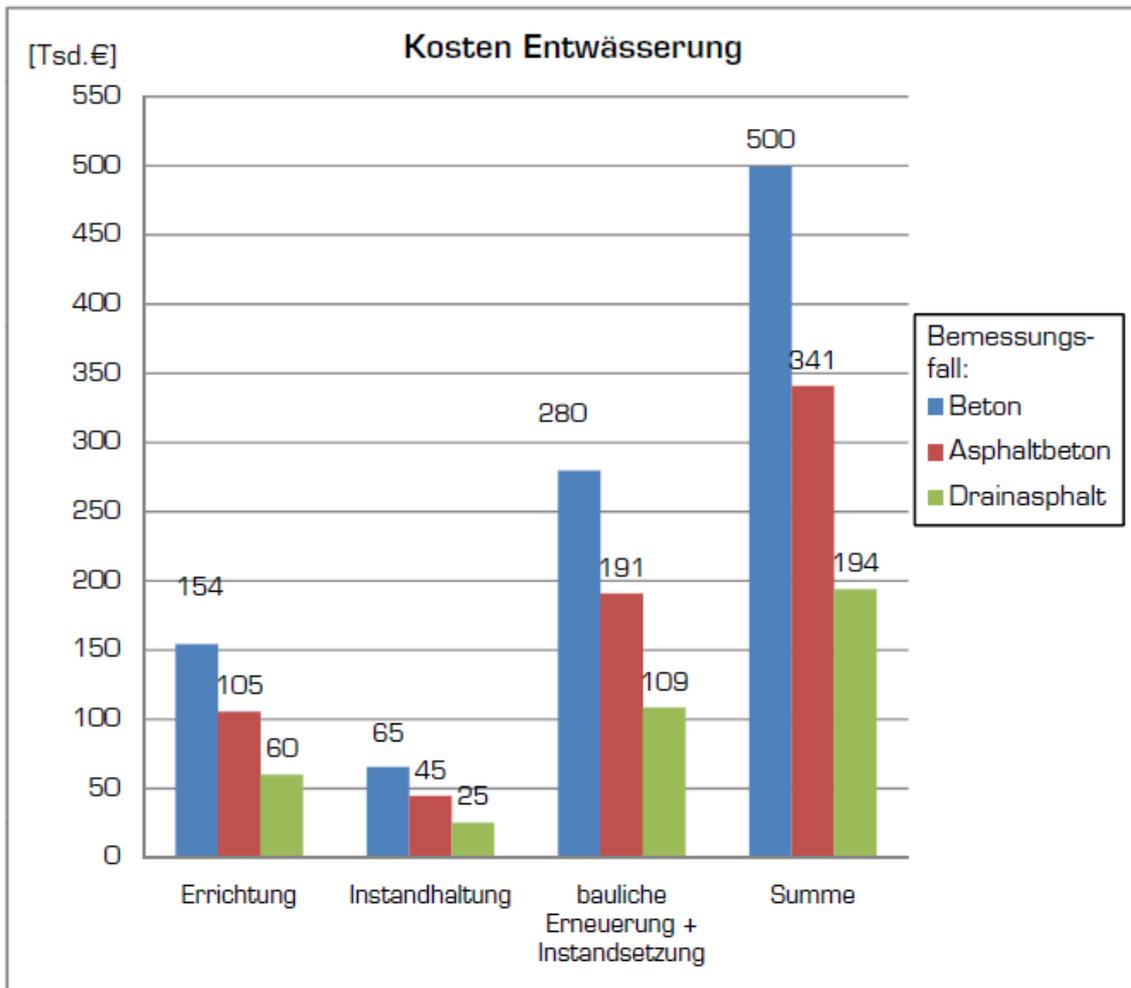
**Abbildung 94: Abgeschätzte Lebenszykluskosten der Lärmschutzwände zu den verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen**

Abbildung 94 zeigt die Lebenszykluskosten der für die unterschiedlichen Fahrbahndeckschichtausführungen optimierten Lärmschutzwände. Hier wird deutlich, dass die zusätzlichen Kosten bei einer Drainasphaltauflage aufgrund des – im Vergleich zu den beiden anderen betrachteten Varianten – höchsten Lärmreduzierungs potentials, die geringsten sind.

Die Kosten der einmaligen Errichtung betragen im betrachteten Beispiel aufgrund der unterschiedlichen Längen und Höhen im Vergleich zu einer Lärmschutzwand für eine Betondeckschicht nur knapp ein Viertel – 2,0 Mio.€ zu 7,8 Mio.€ – im Vergleich zu einer auf einer Asphaltbetondeckschicht optimierten Lärmschutzwand knapp 40 % – 2,0 Mio.€ zu 5,5 Mio.€. Da bauliche und betriebliche Erhaltung sowie bauliche Erneuerung dieselben Abhängigkeiten besitzen, bleiben diese Verhältnisse auch für diese Kostenwerte gleich.

Insgesamt ergeben sich für die unterschiedlichen Varianten folgende mögliche Lebenszykluskosten für die unterschiedlichen Lärmschutzwände:

- Bemessungsfall Betondeckschicht 25,339 [Mio.€],
- Bemessungsfall Asphaltbetondeckschicht 17,695 [Mio.€] und
- Bemessungsfall Drainasphaltauflage 6,579 [Mio.€].



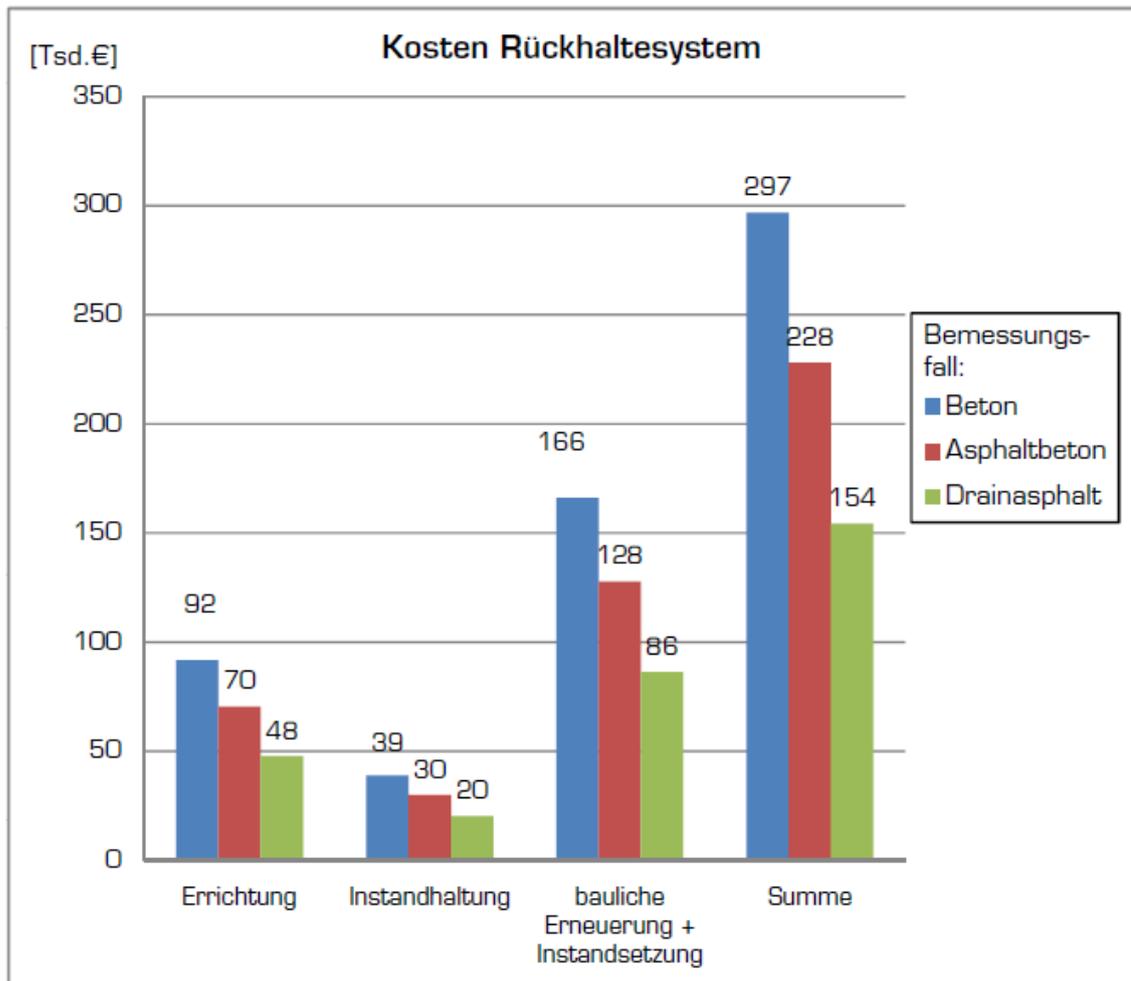
**Abbildung 95: Abgeschätzte Lebenszykluskosten der zusätzlichen Entwässerung zu den verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen**

Die Lebenszykluskosten für die durch die Lärmschutzwand zusätzlich erforderlichen Entwässerungsmaßnahmen (siehe Abbildung 95) zeigen die gleichen Tendenzen wie die Kosten der Lärmschutzwände selbst. Einzig die Kostenunterschiede fallen nicht derart eklatant aus, da die hohen Kosten hauptsächlich durch große Rohrdurchmesser und Schächte entstehen. Dies bedeutet, dass die Mehrkosten im Wesentlichen nur durch die Mehrlängen erzeugt werden und somit diese auch widerspiegeln.

Insgesamt ergeben sich für die drei unterschiedlichen Varianten folgende mögliche Lebenszykluskosten für die Entwässerungssysteme:

- Bemessungsfall Betondeckschicht 0,500 [Mio.€],
- Bemessungsfall Asphaltbetondeckschicht 0,341 [Mio.€] und
- Bemessungsfall Drainasphaltdeckschicht 0,194 [Mio.€].

Aufgrund der geringsten erforderlichen Lärmschutzwandlänge ist somit die Ausführung als Drainasphaltdeckschicht die billigste.



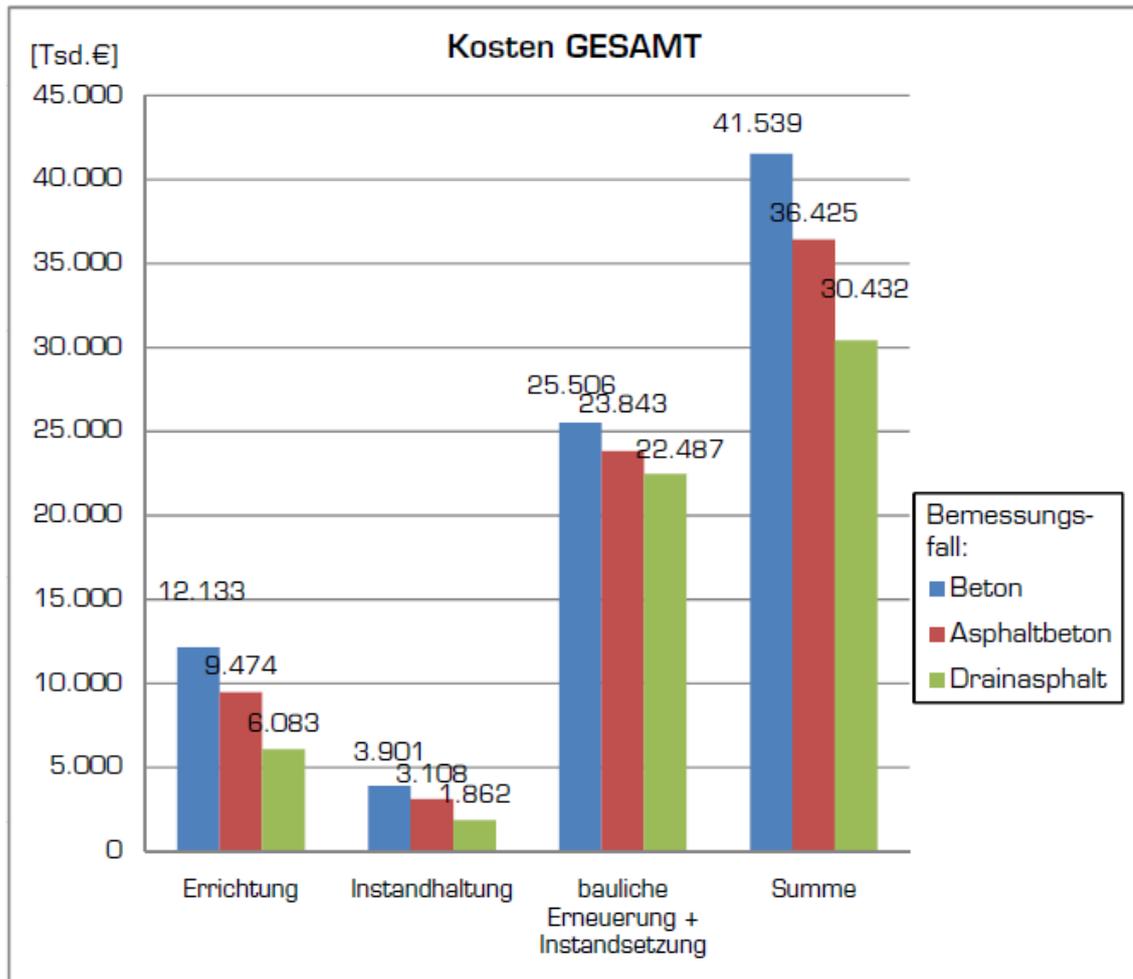
**Abbildung 96: Abgeschätzte Lebenszykluskosten der zusätzlichen Rückhaltesysteme zu den verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen**

Abbildung 96 stellt die Lebenszykluskosten für die aufgrund der Lärmschutzwände zusätzlich erforderlichen Rückhaltesysteme dar. Grundsätzlich sind für alle drei Deckschichttypen Stahlleitschienen der Aufhalteklasse H2 als zusätzliche Rückhaltesysteme gewählt. Diese müssen vor den Lärmschutzwänden errichtet werden, um einen direkten Anprall eines Verkehrsteilnehmers im Falle eines Unfalls zu verhindern. Somit sind diese auch nur von der Längsausdehnung der Lärmschutzwand abhängig und spiegeln die Längenverhältnisse der auf die drei Deckschichttypen optimierten Lärmschutzwände wieder.

Für die zusätzlich erforderlichen Rückhaltesysteme ergeben sich folgende mögliche Lebenszykluskosten:

- Bemessungsfall Betondeckschicht 0,297 [Mio.€],
- Bemessungsfall Asphaltbetondeckschicht 0,228 [Mio.€] und
- Bemessungsfall Drainasphaltdeckschicht 0,154 [Mio.€].

Aufgrund der geringsten erforderlichen Lärmschutzwandlänge ist, wie auch schon im Falle der zusätzlichen Entwässerungsmaßnahmen, die Ausführung als Drainasphaltdeckschicht die billigste.



**Abbildung 97: Abgeschätzte Lebenszykluskosten für die verschiedenen Gesamtsysteme**

Werden alle betrachteten Elemente für die unterschiedlichen Deckschichtausführungen im gesamten Baulos miteinander verglichen, so ist feststellbar, dass – vor allem durch die zusätzlich erforderlichen Kosten – in allen Bereichen eine Ausführung in Drainasphalt die wirtschaftlichste ist.

Insgesamt betragen die gesamten Lebenszykluskosten einer Drainasphaltausführung mit 30,4 Mio.€ etwa 85 Prozent der einer Asphaltbetonvariante (36,4 Mio.€) und nur knapp drei Viertel jener einer Betondeckschichtausführung (41,5 Mio.€).

Allerdings sind in dieser Rechnung die Nutzerkosten nicht berücksichtigt. Eine Einbeziehung dieser könnte – wegen der öfter erforderlichen Baustellen sowohl bei der Asphaltbeton- als auch bei der Drainasphaltvariante – die Unterschiede relativieren.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Eingeleitet wurde diese Arbeit durch eine kurze, allgemeine Einführung in die Lärmthematik. Hier ging es vor allem um eine grundsätzliche Erklärung der verschiedenen Definitionen, Werte, Rechenregeln und Messverfahren.

Im darauf folgenden Kapitel wurden verschiedene Lärminderungsmaßnahmen dargestellt. Beginnend mit einer Einführung in die rechtlichen Grundlagen wurden daraufhin verschiedene emissionsreduzierende Maßnahmen erläutert und schließlich die diversen bautechnischen Lärmschutzmaßnahmen an Straßen vorgestellt.

Danach folgte die Beschreibung des gewählten Geländemodells, welches als Grundlage der durchgeführten Untersuchungen zur Schallausbreitung und Schallwirkung gedient hatte. Dieses setzte sich vor allem aus den folgenden Elementen zusammen:

- die vierstreifige Autobahn mit überregionaler Verkehrsbelastung
- eine etwa 120 m entfernte Siedlung südlich der Trasse sowie
- eine etwa 240 m entfernte Siedlung nördlich der Trasse.

Bei der Berechnung der möglichen Lärminderungspotenziale der Deckschicht sowie der Wechselwirkung mit der zusätzlich erforderlichen Lärmschutzmaßnahme einer Lärmschutzwand zur Erreichung der Grenzwerte wurden folgende Deckschichttypen untersucht:

- Beton
- Asphaltbeton und
- Drainasphalt.

Dabei wird angenommen, dass jeder der besagten Deckschichttypen auf dem gesamten Streckenabschnitt eingebaut wird.

Für alle drei Varianten konnte festgestellt werden, dass die erforderlichen Grenzwerte in den beiden Siedlungen nicht eingehalten wurden, weshalb für alle drei Varianten eine zusätzliche Lärmschutzwand berechnet werden mußte.

Die Beurteilung der Immissionsorte in den Siedlungen hatte ergeben, dass im Falle einer Betondeckschicht in der südlichen Siedlung die maximale Grenzwertüberschreitung mit 9,2 dB (A) während des Beurteilungszeitraums Nacht, in der nördlichen Siedlung die maximale Überschreitung mit 10,1 dB (A) ebenfalls für den Beurteilungszeitraum Nacht entstehen. Dies bedeutet einerseits, dass die Lärmbelastung bei Nacht – trotz des geringeren Verkehrsaufkommens – höher ist als bei Tag, was allerdings auch auf den niedrigeren Grenzwert zurückzuführen ist, der das erhöhte Ruhebedürfnis während der Nacht widerspiegeln soll. Andererseits war zu bemerken, dass die Grenzwertüberschreitungen in der nördlichen Siedlung trotz der doppelten Entfernung zur Schallquelle größer gewesen waren als in der südlichen.

Für die Ausführungsvariante einer herkömmlichen Asphaltbetondeckschicht hatten sich an genau denselben Immissionspunkten die maximalen Grenzwertüberschreitungen mit Werten von 6,7 dB (A) für die südliche und 7,6 dB (A) für die nördliche Siedlung ergeben, was ein Lärminderungspotenzial von circa 2,5 dB (A) im Vergleich zur Betondeckschicht bedeutete.

Die Analyse der Variante einer Drainasphaltdeckschicht hatte wiederum an den gleichen Immissionsorten die maximalen Grenzwertüberschreitungen mit Werten von 3,2 dB (A) für die südliche und 4,1 dB (A) für die nördliche Siedlung ergeben, was ein Lärminderungspotenzial von circa 6,0 dB (A) zur Betonvariante und von etwa 4,5 dB (A) gegenüber der Asphaltbetonvariante bedeutete.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden für die jeweiligen Deckschichttypen Lärmschutzwände optimiert, um ein Einhalten der Grenzwerte zu gewährleisten. Für die unterschiedlichen Varianten und Siedlungen ergaben sich folgende Maximalhöhen beziehungsweise wurden folgende Höhen am häufigsten erforderlich:

**Tabelle 24: Lärmschutzwandhöhen für die unterschiedlichen Deckschichttypen**

	Beton		Asphaltbeton		Drainasphalt	
	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord
	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]	[m1]
H <sub>max</sub>	6,00	11,50	4,50	10,50	2,50	9,50
H <sub>meist</sub>	5,00	11,00	3,00	10,00	1,00	9,50

Durch eine Multiplikation der Längen der ermittelten Lärmschutzwandhöhen ergaben sich folgende Flächen der für die unterschiedlichen Deckschichttypen optimierten Lärmschutzwände:

**Tabelle 25: Lärmschutzwandflächen für die unterschiedlichen Deckschichttypen**

	Beton		Asphaltbeton		Drainasphalt	
	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord
	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]	[m2]
Fläche	2.811,7	6.791,6	1.400,2	5.043,6	390,8	2.886,9

Die Lärmschutzwände wurden auf das Einhalten der Grenzwerte an allen Immissionsorten optimiert, weshalb die Lärminderung den oben beschriebenen maximalen Grenzwertüberschreitungen entsprochen hatte.

Schlussendlich wurden für die verschiedenen Varianten mögliche Lebenszykluskosten – sowohl die Kosten für die einmalige Errichtung, als auch jene für die Erneuerung über die Lebensdauer der Maßnahme – ermittelt. Der gewählte Betrachtungszeitraum waren 30 Jahre. Ein Vergleich der drei Variantenstudien hat die Drainasphaltausführung als die wirtschaftlich beste erkennen lassen.

Allerdings sind in dieser Rechnung die Nutzerkosten nicht berücksichtigt, die – aufgrund der öfter erforderlichen Baustellen sowohl bei der Asphaltbeton- als auch bei der Drainasphaltvariante – die Unterschiede der Lebenszykluskosten relativieren könnten.

Dieses Ergebnis hängt zudem naturgemäß sehr stark von den gewählten Kostenwerten ab. Es ist daher zu empfehlen, derartige Vergleiche auf der jeweiligen Projektebene mit den tatsächlich vorliegenden Preisansätzen durchzuführen.

## GLEICHUNGSVERZEICHNIS

Gleichung 1 .....	8
Gleichung 2 .....	12
Gleichung 3 .....	13
Gleichung 4 .....	14
Gleichung 5 .....	16
Gleichung 6 .....	17
Gleichung 7 .....	19
Gleichung 8 .....	57
Gleichung 9 .....	58
Gleichung 10 .....	60
Gleichung 11 .....	60
Gleichung 12 .....	60
Gleichung 13 .....	60
Gleichung 14 .....	60
Gleichung 15 .....	61
Gleichung 16 .....	63
Gleichung 17 .....	63

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 : Schallausbreitung [9].....	7
Abbildung 2 : Lärmstufen und Lärmwirkungen [6] .....	8
Abbildung 3 : Entstehung von Straßenverkehrslärm [14] .....	10
Abbildung 4 : Einflussfaktoren auf das Reifen/Fahrbahn-Geräusch [14] .....	11
Abbildung 5 : Empfundene Lautheit in Abhängigkeit des Schallpegels [6].....	12
Abbildung 6 : Beispiele für das Rechnen mit Schallpegeln [17] .....	14
Abbildung 7 : Referenzgeschwindigkeiten und Bewertungsfaktoren $W_x$ [20].....	15
Abbildung 8 : Schematische Darstellung des Messplatzes lt. ISO 11819-1 [52] .....	15
Abbildung 9 : Schematische Darstellung der Prüfanordnung lt. RVS 11.06.64 [53].....	16
Abbildung 10 : Prinzipskizze Rollgeräuschmessanhänger lt. RVS 11.06.64 [53].....	17
Abbildung 11 : CPX- Messungen, Prinzipdarstellung der Mikrofonpositionen [54].....	18
Abbildung 12 : Entwicklung der Fahrgeräuschgrenzwerte gemäß EU-Richtlinie 70/157/EG [25] .....	23
Abbildung 13 : Derzeit gültige Fahrgeräuschgrenzwerte gemäß EU-Richtlinie 70/157/EG (nach [26]).....	24
Abbildung 14 : Einfluss der Geschwindigkeit auf die Lärmentwicklung [27] .....	25
Abbildung 15 : Lärmschutzwirkung unterschiedlicher Bepflanzungen [30].....	28
Abbildung 16 : Einfluss der Bewuchshöhe [30] .....	28
Abbildung 17 : Beispiel der Bepflanzung einer Lärmschutzwand [31] .....	29
Abbildung 18 : Prinzipieller Aufbau eines Lärmschutzdammes [32].....	30
Abbildung 19 : Prinzipskizze Lärmschutzwall System Aquasol KNL [33] .....	31
Abbildung 20 : Lärmschutzwall System Aqzasol KNL im Bau [33].....	31
Abbildung 21 : Lärmschutzwall System Aquasol KNL [33] .....	32
Abbildung 22 : Kombination aus Erddamm und Lärmschutzwand [27].....	33
Abbildung 23 : Begrünter Steilwall „Greenwall“ Systemskizze [34].....	33
Abbildung 24 : Begrünter Steilwall „Greenwall“ [34].....	34
Abbildung 25 : Begrünter Steilwall [31] .....	34
Abbildung 26 : Problematik entfernter Schallquellen [27] .....	36
Abbildung 27 : Lösung durch den Bau einer Mittelwand [27] .....	36
Abbildung 28 : Prinzipskizze einer gekrümmten Wand [27].....	37

Abbildung 29 : Gekrümmte Wand an der A22 Donauufer- Autobahn bei Korneuburg [27].....	37
Abbildung 30 : Vorteile einer gebogenen Lärmschutzwand [35].....	38
Abbildung 31 : Kleiner Bogen an der A1 West- Autobahn bei Salzburg- Taxham [35].....	38
Abbildung 32 : A23 Südosttangente; Abgewinkelte Lärmschutzwand [27] .....	39
Abbildung 33 : Lärmschutzwandaufsatz „Octagon“ [27].....	39
Abbildung 34 : Schnitt der geplanten Autobahneinhausung Schwamendingen [36].....	40
Abbildung 35 : Ansicht der geplanten Autobahneinhausung Schwamendingen [36].....	40
Abbildung 36 : Einhausung BinderMichl; Portale [37].....	40
Abbildung 37 : A1 West- Autobahn bei St. Pölten, Richtung Salzburg [27].....	41
Abbildung 38b : Bausteinsystem der Firma Durisol [38].....	42
Abbildung 39 : Landscape- System der Firma Rieder [39] .....	43
Abbildung 40 : Lärmschutzwand aus Holz [27] .....	43
Abbildung 41 : Lärmschutzwand aus Beton [27].....	44
Abbildung 42 : Lärmschutzwand aus Aluminium [27].....	44
Abbildung 43 : Lärmschutzwand mit gefüllten Körben [33] .....	45
Abbildung 44 : Lärmschutzwand aus Kunststoff [27].....	45
Abbildung 45 : Lärmschutzwand aus transparenten Materialien [40].....	46
Abbildung 46 : Fensterkonstruktion mehrfach-Verglasung [10].....	47
Abbildung 47 : Fenster- Vorsatzschale (Kastenfenster) [10].....	48
Abbildung 48 : Fenster mit integrierter Schalldämmlüftung [10].....	48
Abbildung 49 : Fiktives Geländemodell mit Siedlung und Trassenachse .....	50
Abbildung 50 : Achsdatei der Autobahnzentralachse .....	52
Abbildung 51 : Lageplan und Trassenführung .....	53
Abbildung 52 : Gradientenparameter .....	54
Abbildung 53 : Längenschnitt.....	54
Abbildung 54 : Regelquerschnitt.....	55
Abbildung 55 : Lageplan Berechnungsgebiet .....	56
Abbildung 56 : Siedlungsgebiet und Immissionsorte.....	56
Abbildung 57 : Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung [5].....	62
Abbildung 58: Schema der ausgewählten Immissionsorte.....	66
Abbildung 59: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Tag).....	70

Abbildung 60: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Tag).....	71
Abbildung 61: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Tag).....	72
Abbildung 62: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Tag) .....	74
Abbildung 63: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Tag).....	74
Abbildung 64: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Tag).....	75
Abbildung 65: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Nacht) .....	77
Abbildung 66: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Nacht).....	78
Abbildung 67: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Nacht).....	79
Abbildung 68: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Nacht) .....	81
Abbildung 69: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Nacht).....	81
Abbildung 70: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Nacht).....	82
Abbildung 71: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton (Tag und Nacht).....	84
Abbildung 72: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton (Tag und Nacht).....	85
Abbildung 73: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt (Tag und Nacht).....	86
Abbildung 74: Vergleich der maximal auftretenden Pegelüberschreitung (Beurteilungszeitraum Tag).....	87
Abbildung 75: Vergleich der maximal auftretenden Pegelüberschreitung (Beurteilungszeitraum Nacht).....	87
Abbildung 76: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Tag).....	92
Abbildung 77: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Tag) .....	93
Abbildung 78: Rasterlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Tag) .....	94
Abbildung 79: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Tag).....	96
Abbildung 80: Schnittlärmkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Tag) .....	96

Abbildung 81: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Tag) .....	97
Abbildung 82: Rasterlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Nacht).....	99
Abbildung 83: Rasterlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Nacht) .....	100
Abbildung 84: Rasterlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Nacht) .....	101
Abbildung 85: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Nacht).....	103
Abbildung 86: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Nacht) .....	103
Abbildung 87: Schnittlärnkarte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Nacht) .....	104
Abbildung 88: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Beton mit Lärmschutzwand (Tag und Nacht) .....	106
Abbildung 89: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Asphaltbeton mit Lärmschutzwand (Tag und Nacht).....	107
Abbildung 90: Dauerschallpegel der Immissionsorte für den Fahrbahndeckschichttyp Drainasphalt mit Lärmschutzwand (Tag und Nacht).....	108
Abbildung 91: Rückhaltesystem mit Unterfahrschutz der Firma Voestalpine .....	109
Abbildung 92: Häufigkeit der baulichen Erneuerung für die verschiedenen Deckschichttypen .....	119
Abbildung 93: Abgeschätzte Lebenszykluskosten der verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen.....	121
Abbildung 94: Abgeschätzte Lebenszykluskosten der Lärmschutzwände zu den verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen .....	122
Abbildung 95: Abgeschätzte Lebenszykluskosten der zusätzlichen Entwässerung zu den verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen.....	123
Abbildung 96: Abgeschätzte Lebenszykluskosten der zusätzlichen Rückhaltesysteme zu den verschiedenen Fahrbahndeckschichttypen .....	124
Abbildung 97: Abgeschätzte Lebenszykluskosten für die verschiedenen Gesamtsysteme .....	125

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Beispiele für Geräuschquellen und deren Schallpegel .....	9
Tabelle 2: Zusätzliche Lärminderung durch Geschwindigkeitsreduktion [28].....	26
Tabelle 3: Festgestellte Wirkung der Geschwindigkeitsbegrenzung [28].....	26
Tabelle 4: Bemessungsfaktoren für Verkehrslärberechnungen [5].....	58
Tabelle 5: Richtwerte Schwerverkehrsanteil für Verkehrslärberechnungen [5].....	58
Tabelle 6: Richtwerte für den Anteil leichter und schwerer LKW am Schwerverkehr für Verkehrslärberechnungen [5].....	59
Tabelle 7: Anteil lärmarmen Lkw für Verkehrslärberechnungen [5] .....	59
Tabelle 8: Basiswert für die Fahrzeugemission [5] .....	61
Tabelle 9: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit [5].....	61
Tabelle 10: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei PKW [5] .....	62
Tabelle 11: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei LKW [5].....	62
Tabelle 12: Auf 0 dB normiertes Spektrum für Verkehrslärm (A- bewertet) [5] .....	63
Tabelle 13: Verkehrsbelastung nach Fahrzeugkategorie gegliedert für den gesamten Querschnitt (beide Richtungsfahrbahnen) .....	64
Tabelle 14: Maßgebende stündliche Verkehrsbelastung für die Berechnung .....	65
Tabelle 15: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit für V=130 km/h .....	65
Tabelle 16: Berechneter Emissionsschallpegel für den Beurteilungszeitraum Tag.....	65
Tabelle 17: Berechneter Emissionsschallpegel für den Beurteilungszeitraum Nacht.....	65
Tabelle 18: Optimierte Lärmschutzwand für die unterschiedlichen Deckschichttypen .....	89
Tabelle 19: Fläche der optimierte Lärmschutzwand für die unterschiedlichen Deckschichttypen .....	90
Tabelle 20: Länge der Lärmschutzwand für die unterschiedlichen Deckschichttypen .....	112
Tabelle 21: Lärmschutzwandfläche für die unterschiedlichen Deckschichttypen.....	113
Tabelle 22: Entwässerungs- und Rückhaltemaßnahmen für die unterschiedlichen Deckschichttypen .....	114
Tabelle 23: Abgeschätzte Lebenszykluskosten für die unterschiedlichen Deckschichttypen .....	120
Tabelle 24: Lärmschutzwandhöhen für die unterschiedlichen Deckschichttypen .....	127
Tabelle 25: Lärmschutzwandflächen für die unterschiedlichen Deckschichttypen .....	127

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Umweltbundesamt: Umweltsituation in Österreich. Achter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat, Wien, 2007
- [2] Hutter, H.-P. und Knapp, E.: Wirkung von Lärm auf die Gesundheit. Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung: „Internationaler Tag gegen Lärm. 24. April 2002“, Kefermarkt, 2002
- [3] ASFINAG: Lärmschutz. <http://www.asfinag.at/index.php?idtopic=669>, 22.06.2007
- [4] ORF: Online- Artikel „Gorbach-Weisung“ vom 20.12.2006 zu finden auf: <http://oesterreich.orf.at/stories/159264/>, 22.06.2007
- [5] RVS 04.02.11 (3/2006) „Umweltschutz – Lärmschutz und Luftschadstoffe – Lärmschutz“, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2006
- [6] ASFINAG: Schalltechnische Grundlagen. <http://www.asfinag.at/index.php?module=Pagesetter&type=file&func=get&tid=214&fid=ddownload1&pid=35>, 22.06.2007
- [7] Nationalrat: Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz – Bundes-LärmG, 60/2005, Wien, 2005
- [8] Europäisches Parlament und Rat der EU: Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm vom 25. Juni 2002, L 189, Brüssel, 2002
- [9] <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~bmbflerm/emission.gif>, 24.09.2006
- [10] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Handbuch Umgebungslärm. Minderung und Ruhevorsorge. Wien, 2007
- [11] Institut für angewandte Umweltforschung: Umweltlexikon. <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBlaerm/Schall.php>, 23.06.2007
- [12] Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (Hrsg.): ÖAL-Richtlinie Nr. 36 Blatt 1, Wien, 2007
- [13] FEHRL: FEHRL REPORT 2006/02. Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces, Brüssel, 2006
- [14] Haberl, J.: Vortrag „Reduktion des Straßenverkehrslärms durch lärmindernde Deckschichttypen“ in der GSV, Wien, 2006
- [15] Umweltbundesamt: Umweltsituation in Österreich. Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat; 7.Umweltkontrollbericht-Box 3.13-5\_E/G, Wien, 2004
- [16] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT): Dienstweisung – Lärmschutz an Bundesstraßen (Autobahnen und Schnellstraßen), GZ. BMVIT-300.040/0004-II/ST-ALG/2006, Wien, Dezember 2006

- [17] ASFINAG: Straßenlärm.  
<http://www.asfinag.at/index.php?module=Pagesetter&type=file&func=get&tid=214&fid=ddownload1&pid=36>, 22.06.2007
- [18] Nationalrat: Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung – Bundes-LärmV, 144/2006, Wien, 2006
- [19] Umweltbundesamt:  
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/laerm/laermschutz/>, 09.07.2007
- [20] Litzka, J. und Haberl, J.: Projekt Nr. 3.316; Versuchsstrecke lärmindernde Straßendecken A12; Schlussbericht , Wien, März 2007 (unveröffentlicht)
- [21] Europäisches Parlament und Rat der EU: Richtlinie 2002/49/EG vom 25. Juni 2002, L 189, Brüssel , 2002, Artikel 1
- [22] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft: „144. Verordnung über die Methoden und technischen Spezifikationen für die Erhebung des Umgebungslärms“ (Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung – Bundes-LärmV), Wien, 2006
- [23] Land Steiermark: „Richtlinie Lärmschutz Landesstraße“ (RiLL), Juli 2005
- [24] Bundesministeriums für Handel, Gewerbe und Industrie: „399. Verordnung über die Durchführung des Kraftfahrzeuggesetzes 1967“ (Kraftfahrzeuggesetz-Durchführungsverordnung 1967 KDV 1967), Wien, 2004
- [25] Ruschmeyer, S.: Kraftfahrzeuglabor II. Fahrzeuggeräuschmessungen, Institut für Kraftfahrwesen – RWTH Aachen, Aachen, Juni 2007
- [26] Rodi, M.: Rechtsgutachten. Nichteinhaltung der Dauerhaltbarkeitsanforderungen in Bezug auf Abgasgrenzwerte sowie Veränderungen der Geräuscheigenschaften (Reifen) bei der Feldüberwachung/laufende Tests In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Texte 60/02, Berlin, Dezember 2002
- [27] Asfinag: ASFINAG: Lärmschutzmaßnahmen.  
<http://www.asfinag.at/index.php?module=Pagesetter&type=file&func=get&tid=214&fid=ddownload1&pid=37>, 22.06.2007
- [28] ≠ [15] Umweltbundesamt: Umweltsituation in Österreich. Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat; 7.Umweltkontrollbericht-Box 3.13-10\_E/G/T, Wien, 2004
- [29] [http://xfaweb.baden-wuerttemberg.de/NafaWeb/berichte/plp\\_01/gopl\\_10030.html](http://xfaweb.baden-wuerttemberg.de/NafaWeb/berichte/plp_01/gopl_10030.html), 14.07.2007
- [30] Stögmüller, H. et al: „Entwicklung einer Typologie für Schallschutzbauten“, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 493, Wien, 1999
- [31] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Arbeitsgruppe Straßenentwurf: Empfehlungen für die Gestaltung von Lärmschutzanlagen an Straßen, Köln, 2005
- [32] Flesch, R. et al.: „Umweltgerechte Materialien für Lärmschutzwände“, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 478, Wien, 1998

- [33] <http://www.aquasol.at/>; 02.03.2008
- [34] [http://www.allergohaus.de/tangaben\\_green.htm](http://www.allergohaus.de/tangaben_green.htm); 02.03.2008
- [35] [http://www.rieder.at/pdf/laermschutz\\_folder.pdf](http://www.rieder.at/pdf/laermschutz_folder.pdf); 09.07.2008
- [36] [http://www.laerm.zh.ch/index.html?/fals/5-sanierung/strassen/san\\_autobahnen/san\\_a1-zuerich\\_schwamendingen.html](http://www.laerm.zh.ch/index.html?/fals/5-sanierung/strassen/san_autobahnen/san_a1-zuerich_schwamendingen.html); 09.07.2008
- [37] <http://www.siteco.de/references/traffic/project/127.html>; 09.07.2008
- [38] [http://www.durisol.at/seiten/O5\\_laermschutz/O4\\_formenvielfalt.asp](http://www.durisol.at/seiten/O5_laermschutz/O4_formenvielfalt.asp); 09.07.2008
- [39] [http://www.rieder.at/pdf/landscape\\_folder.pdf](http://www.rieder.at/pdf/landscape_folder.pdf); 09.07.2008
- [40] <http://www.para-chemie.at/methacrylates/de/produkte/plexiglas/anwendungen/schutzsicherheit/soundstop/referenzen/muenchberg/>; 09.07.2008
- [41] Braunstein + Berndt GmbH: Handbuch SoundPLAN – Software für Lärm- und Schadstoffprognosen. Version 6.4, Mai 2005
- [42] RVS 03.03.23 (01/1997) „Linienführung“, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten sowie Österreichische Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen, Wien, 1997
- [43] RVS 03.03.31 (05/2005) „Querschnittselemente Freilandstraße; Verkehrs- und Lichtraum“, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr, Wien, 2005
- [44] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation; Bundesamt für Strassen ASTRA und Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung – Stand: Dezember 2006. Anhang 4b. Version: 18.12.2007. Kostengrundlagen für die Anwendung von SRU-301 und UV-0609 bei Lärmsanierungsprojekten.
- [45] Holldorb, Ch.: Ökonomische Bewertung der lärmindernden Wirkung offenporiger Asphaltdeckschichten, Karlsruhe, 2003
- [46] Ilgeroth, M.: Kalkulationstabellen Straßen- und Tiefbau, Berlin, 2007
- [47] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Lärmarme Reifen und geräuschkindernde Fahrbahnbeläge. Erkenntnisse – Maßnahmen – Konzepte, Karlsruhe, 2004
- [48] Stalder, W.: Aus- und Weiterbildungskurs „Lärm- und Schallschutz“. 4. Auszug – Schallausbreitung im Freien, Emmenbrücke, 2004
- [49] Europäisches Parlament und Rat der EU: Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung vom 24. September 1996, L 257, Brüssel, 1996
- [50] ÖVE/ÖNORM EN 61672- 1, „Elektroakustik – Schallpegelmesser“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2002
- [51] ISO 1996- 2: 1987 „Acoustics – Description and measurement of environmental noise“, International Organisation for Standardisation (ISO), Genf, 1987

- [52] ISO 11819- 1 „Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: The Statistical Pass-By Method“, International Organisation for Standardisation (ISO), Genf, 1997
- [53] RVS 11.06.64 (04/1997) „Rollgeräuschmessungen“, Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 1997
- [54] ISO/CD 11819 - 2 (CPX) „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
- [55] RVS 3.02 (12/1997 mit Anhang 10/1999) „Umweltschutz – Lärmschutz und Luftschadstoffe – Lärmschutz“, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 1997
- [56] Bundesminister für öffentliche Wirtschaft und Verkehr: „451. Verordnung: Änderung der Kraftfahrzeuggesetz- Durchführungsverordnung 1967 (28. Novelle zur KDV 1967)“, Wien, 1989
- [57] Europäisches Parlament und Rat der EU: Richtlinie 2001/43/EG vom 27. Juni 2001, L 211, Brüssel , 2001
- [58] DIN 1052 – Ausgabe August 2004: Holzbau, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2004
- [59] ÖNORM B 4700: Stahlbetontragwerke, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2001
- [60] DIN 1725, Teil 1 – Ausgabe Februar 1983: Aluminiumlegierungen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 1983
- [61] ÖNORM B 8115, Teil 2: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Anforderungen an den Schallschutz, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2006
- [62] RVS 03.08.63 (4/2008) „Oberbaubemessung“, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2008
- [63] RVS 05.02.32 (5/2004) „Rückhaltesysteme – Aufstellung und Anordnung“, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2004
- [64] RVS 04.04.11 (11/2002) „Gewässerschutz“, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2002
- [65] RVS 03.08.65 (11/1986) „Entwässerungsarbeiten“, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 1986

# ANHANG A: BERECHNUNG DER ABSCHÄTZUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN

## A 1 Betondeckschicht

alle Werte in Tsd-E		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Beton</b>																
<i>Fahrbahn (Betondecke + bituminöse Tragdeckschicht)</i>																
	Errichtung	4.054,244														
	Instandhaltung	11,262	11,487	11,717	11,951	12,190	12,434	12,683	12,936	13,195	13,459	13,728	14,003	14,283	14,568	14,860
	Erneuerung															
<i>Lärmschutzwand</i>																
<b>NORD</b>	Errichtung	6.905,742														
	Instandhaltung	69,057	70,439	71,847	73,284	74,750	76,245	77,770	79,325	80,912	82,530	84,181	85,864	87,582	89,333	91,120
	Erneuerung															
<b>SÜD</b>	Errichtung	926,598														
	Instandhaltung	9,266	9,451	9,640	9,833	10,030	10,230	10,435	10,644	10,857	11,074	11,295	11,521	11,751	11,987	12,226
	Erneuerung															
<b>SUMME</b>	Errichtung	7.832,338														
	Instandhaltung	78,323	79,890	81,488	83,117	84,780	86,475	88,205	89,969	91,768	93,604	95,476	97,385	99,333	101,320	103,346
	Erneuerung															
<i>Entwässerung</i>																
	Errichtung	154,418														
	Instandhaltung	1,544	1,575	1,607	1,639	1,671	1,705	1,739	1,774	1,809	1,845	1,882	1,920	1,958	1,998	2,038
	Erneuerung															
<i>Rückhaltesystem</i>																
	Errichtung	91,733														
	Instandhaltung	0,917	0,936	0,954	0,973	0,993	1,013	1,033	1,054	1,075	1,096	1,118	1,141	1,163	1,187	1,210
	Erneuerung															
<b>GESAMTSUMME</b>																
	Errichtung	12.132,733	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Instandhaltung	92,047	93,888	95,765	97,681	99,634	101,627	103,660	105,733	107,847	110,004	112,204	114,448	116,737	119,072	121,454
	Erneuerung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>SUMME</b>		<b>12.224,78</b>	<b>93,89</b>	<b>95,77</b>	<b>97,68</b>	<b>99,63</b>	<b>101,63</b>	<b>103,66</b>	<b>105,73</b>	<b>107,85</b>	<b>110,00</b>	<b>112,20</b>	<b>114,45</b>	<b>116,74</b>	<b>119,07</b>	<b>121,45</b>

alle Werte in Tsd-€		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	SUMME
<b>Beton</b>																		
	<i>Fahrbahn (Betondecke +</i>																	
	Errichtung																	4.054,24
	Instandhaltung	15,157	15,460	15,769	16,085	16,406	16,734	17,069	17,410	17,759	18,114	18,476	18,846	19,223	19,607	19,999	20,399	477,27
	Erneuerung																10.872,758	10.872,76
	<i>Lärmschutzwand</i>																	
	<b>NORD</b> Errichtung																	6.905,74
	Instandhaltung	92,942	94,801	96,697	98,631	100,604	102,616	104,668	106,761	108,897	111,075	113,296	115,562	117,873	120,231	122,635	125,088	2.926,61
	Erneuerung																12.508,796	12.508,80
	<b>SUD</b> Errichtung																	926,60
	Instandhaltung	12,471	12,720	12,975	13,234	13,499	13,769	14,044	14,325	14,611	14,904	15,202	15,506	15,816	16,132	16,455	16,784	392,69
	Erneuerung																1.678,400	1.678,40
	<b>SUMME</b> Errichtung																	7.832,34
	Instandhaltung	105,413	107,521	109,672	111,865	114,102	116,384	118,712	121,086	123,508	125,978	128,498	131,068	133,689	136,363	139,090	141,872	3.319,30
	Erneuerung																14.187,196	14.187,20
	<i>Entwässerung</i>																	
	Errichtung																	154,42
	Instandhaltung	2,078	2,120	2,162	2,205	2,250	2,295	2,340	2,387	2,435	2,484	2,533	2,584	2,636	2,688	2,742	2,797	65,44
	Erneuerung																279,706	279,71
	<i>Rückhaltesystem</i>																	
	Errichtung																	91,73
	Instandhaltung	1,235	1,259	1,284	1,310	1,336	1,363	1,390	1,418	1,447	1,475	1,505	1,535	1,566	1,597	1,629	1,662	38,88
	Erneuerung																166,162	166,16
	<b>GESAMTSUMME</b>																	
	Errichtung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12.132,73
	Instandhaltung	123,883	126,360	128,888	131,465	134,095	136,777	139,512	142,302	145,148	148,051	151,012	154,033	157,113	160,255	163,461	166,730	3.900,89
	Erneuerung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25.505,823	25.505,82
	<b>SUMME</b>	<b>123,88</b>	<b>126,36</b>	<b>128,89</b>	<b>131,47</b>	<b>134,09</b>	<b>136,78</b>	<b>139,51</b>	<b>142,30</b>	<b>145,15</b>	<b>148,05</b>	<b>151,01</b>	<b>154,03</b>	<b>157,11</b>	<b>160,26</b>	<b>163,46</b>	<b>25.672,55</b>	<b>41.539,44</b>

## A 2 Asphaltbetondeckschicht

alle Werte in Tsd-€																
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
<b>Asphaltbeton</b>																
<i>Fahrbahn (Asphaltdeckschicht + bituminöse Tragschicht)</i>																
Errichtung	3.829,008															
Instandhaltung	16,893	17,231	17,575	17,927	18,285	18,651	19,024	19,404	19,792	20,188	20,592	21,004	21,424	21,852	22,290	
Erneuerung																
<i>Lärmschutzwand</i>																
NORD																
Errichtung	5.121,610															
Instandhaltung	51,216	52,240	53,285	54,351	55,438	56,547	57,678	58,831	60,008	61,208	62,432	63,681	64,954	66,253	67,579	
Erneuerung																
SÜD																
Errichtung	347,993															
Instandhaltung	3,480	3,550	3,621	3,693	3,767	3,842	3,919	3,997	4,077	4,159	4,242	4,327	4,413	4,502	4,592	
Erneuerung																
SUMME																
Errichtung	5.469,603															
Instandhaltung	54,696	55,790	56,906	58,044	59,205	60,389	61,597	62,829	64,085	65,367	66,674	68,008	69,368	70,755	72,170	
Erneuerung																
<i>Entwässerung</i>																
Errichtung	105,318															
Instandhaltung	1,053	1,074	1,096	1,118	1,140	1,163	1,186	1,210	1,234	1,259	1,284	1,309	1,336	1,362	1,390	
Erneuerung																
<i>Rückhaltesystem</i>																
Errichtung	70,471															
Instandhaltung	0,705	0,719	0,733	0,748	0,763	0,778	0,794	0,809	0,826	0,842	0,859	0,876	0,894	0,912	0,930	
Erneuerung																
<b>GESAMTSUMME</b>																
Errichtung	9.474,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Instandhaltung	73,347	74,814	76,310	77,836	79,393	80,981	82,600	84,252	85,937	87,656	89,409	91,197	93,021	94,882	96,779	
Erneuerung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
<b>SUMME</b>	<b>9.547,75</b>	<b>74,81</b>	<b>76,31</b>	<b>77,84</b>	<b>79,39</b>	<b>80,98</b>	<b>82,60</b>	<b>84,25</b>	<b>85,94</b>	<b>87,66</b>	<b>89,41</b>	<b>91,20</b>	<b>93,02</b>	<b>94,88</b>	<b>96,78</b>	

alle Werte in Tsd-€																	
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	SUMME
<b>Asphaltbeton</b>																	
<i>Fahrbahn (Asphaltdecks)</i>																	
Errichtung																	3.829,01
Instandhaltung	22,735	23,190	23,654	24,127	24,609	25,102	25,604	26,116	26,638	27,171	27,714	28,269	28,834	29,411	29,999	30,599	715,90
Erneuerung	3.213,259															10.403,577	13.616,84
<i>Lärmschutzwand</i>																	
NORD Errichtung																	5.121,61
Instandhaltung	68,930	70,309	71,715	73,149	74,612	76,104	77,627	79,179	80,763	82,378	84,025	85,706	87,420	89,168	90,952	92,771	2.170,51
Erneuerung																9.277,088	9.277,09
SUD Errichtung																	347,99
Instandhaltung	4,684	4,777	4,873	4,970	5,070	5,171	5,274	5,380	5,487	5,597	5,709	5,823	5,940	6,059	6,180	6,303	147,48
Erneuerung																630,341	630,34
SUMME Errichtung																	5.469,60
Instandhaltung	73,614	75,086	76,588	78,119	79,682	81,275	82,901	84,559	86,250	87,975	89,735	91,529	93,360	95,227	97,132	99,074	2.317,99
Erneuerung																9.907,429	9.907,43
<i>Entwässerung</i>																	
Errichtung																	105,32
Instandhaltung	1,417	1,446	1,475	1,504	1,534	1,565	1,596	1,628	1,661	1,694	1,728	1,762	1,798	1,834	1,870	1,908	44,63
Erneuerung																190,769	190,77
<i>Rückhaltesystem</i>																	
Errichtung																	70,47
Instandhaltung	0,948	0,967	0,987	1,006	1,027	1,047	1,068	1,089	1,111	1,133	1,156	1,179	1,203	1,227	1,251	1,276	29,87
Erneuerung																127,648	127,65
<b>GESAMTSUMME</b>																	
Errichtung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	9.474,40
Instandhaltung	98,715	100,689	102,703	104,757	106,852	108,989	111,169	113,392	115,660	117,973	120,333	122,740	125,194	127,698	130,252	132,857	3.108,39
Erneuerung	3.213,259	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	20.629,423	23.842,68
<b>SUMME</b>	<b>3.311,97</b>	<b>100,69</b>	<b>102,70</b>	<b>104,76</b>	<b>106,85</b>	<b>108,99</b>	<b>111,17</b>	<b>113,39</b>	<b>115,66</b>	<b>117,97</b>	<b>120,33</b>	<b>122,74</b>	<b>125,19</b>	<b>127,70</b>	<b>130,25</b>	<b>20.762,28</b>	<b>36.425,47</b>

### A 3 Drainasphaltdeckschicht

alle Werte in Tsd-E																
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
<b>Drainasphalt</b>																
<i>Fahrbahn (Deckschicht + bituminöse Tragschicht)</i>																
Errichtung	3.941,626															
Instandhaltung	22,524	22,974	23,434	23,902	24,380	24,868	25,365	25,873	26,390	26,918	27,456	28,005	28,565	29,137	29,719	
Erneuerung											3.596,751					
<i>Lärmschutzwand</i>																
NORD																
Errichtung	1.963,109															
Instandhaltung	19,631	20,024	20,424	20,833	21,249	21,674	22,108	22,550	23,001	23,461	23,930	24,409	24,897	25,395	25,903	
Erneuerung																
SUD																
Errichtung	70,337															
Instandhaltung	0,703	0,717	0,732	0,746	0,761	0,777	0,792	0,808	0,824	0,841	0,857	0,875	0,892	0,910	0,928	
Erneuerung																
SUMME																
Errichtung	2.033,446															
Instandhaltung	20,334	20,741	21,156	21,579	22,011	22,451	22,900	23,358	23,825	24,302	24,788	25,283	25,789	26,305	26,831	
Erneuerung																
<i>Entwässerung</i>																
Errichtung	59,943															
Instandhaltung	0,599	0,611	0,624	0,636	0,649	0,662	0,675	0,689	0,702	0,716	0,731	0,745	0,760	0,775	0,791	
Erneuerung																
<i>Rückhaltesystem</i>																
Errichtung	47,686															
Instandhaltung	0,477	0,486	0,496	0,506	0,516	0,526	0,537	0,548	0,559	0,570	0,581	0,593	0,605	0,617	0,629	
Erneuerung																
<b>GESAMTSUMME</b>																
Errichtung	6.082,701	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Instandhaltung	43,934	44,813	45,709	46,623	47,556	48,507	49,477	50,467	51,476	52,506	53,556	54,627	55,719	56,834	57,970	
Erneuerung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3.596,751	0,000	0,000	0,000	0,000	
<b>SUMME</b>	<b>6.126,63</b>	<b>44,81</b>	<b>45,71</b>	<b>46,62</b>	<b>47,56</b>	<b>48,51</b>	<b>49,48</b>	<b>50,47</b>	<b>51,48</b>	<b>52,51</b>	<b>3.650,31</b>	<b>54,63</b>	<b>55,72</b>	<b>56,83</b>	<b>57,97</b>	

alle Werte in Tsd-E		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	SUMME
<b>Drainasphalt</b>																		
<i>Fahrbahn (Deckschicht -</i>																		
	Errichtung																	3.941,63
	Instandhaltung	30,314	30,920	31,538	32,169	32,813	33,469	34,138	34,821	35,517	36,228	36,952	37,691	38,445	39,214	39,998	40,798	954,54
	Erneuerung						4.384,419										10.627,968	18.609,14
<i>Lärmschutzwand</i>																		
<b>NORD</b>																		
	Errichtung																	1.963,11
	Instandhaltung	26,421	26,949	27,488	28,038	28,599	29,171	29,754	30,349	30,956	31,575	32,207	32,851	33,508	34,178	34,862	35,559	831,95
	Erneuerung																3.555,900	3.555,90
<b>SUD</b>																		
	Errichtung																	70,34
	Instandhaltung	0,947	0,966	0,985	1,005	1,025	1,045	1,066	1,087	1,109	1,131	1,154	1,177	1,201	1,225	1,249	1,274	29,81
	Erneuerung																127,405	127,41
<b>SUMME</b>																		
	Errichtung																	2.033,45
	Instandhaltung	27,368	27,915	28,473	29,043	29,623	30,216	30,820	31,437	32,065	32,707	33,361	34,028	34,709	35,403	36,111	36,833	861,76
	Erneuerung																3.683,306	3.683,31
<i>Entwässerung</i>																		
	Errichtung																	59,94
	Instandhaltung	0,807	0,823	0,839	0,856	0,873	0,891	0,909	0,927	0,945	0,964	0,983	1,003	1,023	1,044	1,064	1,086	25,40
	Erneuerung																108,579	108,58
<i>Rückhaltesystem</i>																		
	Errichtung																	47,69
	Instandhaltung	0,642	0,655	0,668	0,681	0,695	0,709	0,723	0,737	0,752	0,767	0,782	0,798	0,814	0,830	0,847	0,864	20,21
	Erneuerung																86,376	86,38
<b>GESAMTSUMME</b>																		
	Errichtung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6.082,70
	Instandhaltung	59,130	60,312	61,519	62,749	64,004	65,284	66,590	67,922	69,280	70,666	72,079	73,520	74,991	76,491	78,021	79,581	1.861,91
	Erneuerung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4.384,419	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	14.506,228	22.487,40
<b>SUMME</b>		<b>59,13</b>	<b>60,31</b>	<b>61,52</b>	<b>62,75</b>	<b>64,00</b>	<b>4.449,70</b>	<b>66,59</b>	<b>67,92</b>	<b>69,28</b>	<b>70,67</b>	<b>72,08</b>	<b>73,52</b>	<b>74,99</b>	<b>76,49</b>	<b>78,02</b>	<b>14.585,81</b>	<b>30.432,01</b>