



Fachabteilung 17C

→ Technische Umweltkontrolle

An die
Fachabteilung 13A
Umwelt- und Anlagenrecht
Landhausgasse 7
8010 Graz

**Schall-, Erschütterungs- und
Lärmschutztechnik**

Bearbeiter: Ing. Lammer Christian
Tel.: 0316/877-2523
Fax: 0316/877-4569
E-Mail: fa17c@stmk.gv.at
Bei Antwortschreiben bitte
Geschäftszeichen (GZ) anführen

GZ: FA17C 76.036/2005-7

Bezug:

Graz, am 17.03.2009

Ggst.: Fachgutachten Schall und Erschütterung, UVP B67a, Abschnitt Südgürtel

Gutachten Schall

Der eingereichten UVE liegt ein Fachbeitrag Lärm bei, welcher im Rahmen der Vorbegutachtung als nicht ausreichend beurteilt wurde. Nach Ergänzung der Unterlagen sind diese nunmehr für eine Beurteilung ausreichend und es wird daher aus schalltechnischer Sicht wie folgt Befund und Gutachten erstattet:

Die dem Fachbeitrag zugrunde liegende Befunderstattung ist als fachlich richtig zu qualifizieren und die gewählte Beurteilungsmethodik entspricht dem Stand der Technik. Daher wird der Fachbeitrag Schall wie folgt in den gegenständlichen Befund übernommen:

Allgemeines

Die Ldstr. B 67a Grazer Ringstraße, ein regionaler innerstädtischer Verkehrsträger, beginnt in Andritz bei der Ldstr. B 67 Grazer Straße und führt über Waltendorf – St. Peter – Liebenau – Puntigam nach Webling an die A 9 Pyhrn Autobahn.

Das Verkehrsaufkommen auf der Ldstr. B 67a Grazer Ringstraße im Untersuchungsgebiet setzt sich aus Pendler- und Wirtschaftsverkehr zusammen. Der LKW-Anteil beträgt derzeit etwa 10 %, wobei LKW-Spitzenanteile bis 15 % auftreten können.

Das Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 18A, Gesamtverkehr und Projektierung beauftragte am 24.04.2002, die Rinderer & Partner Ziviltechniker KEG, Graz, eine Lärmtechnische Untersuchung zum Einreichprojekt zu erarbeiten und ev. geeignete Maßnahmen zur Milderung der möglichen Lärmbelastung infolge Neubau des SÜDGÜRTELS zu planen.

Ziel der gegenständlichen Untersuchung ist es auch, sich Klarheit über die Auswirkungen bezüglich KFZ - Verkehrslärm zu schaffen und die Ergebnisse der Untersuchung in eine UVE einfließen zu lassen.

Im Rahmen dieses Projektes waren folgende Aufgaben zu lösen:

Den künftigen Schallpegel, infolge Verkehr auf der Ldstr. B 67a Grazer Ringstraße, sowie relevanter Gemeindestraßen bei den Wohnverbauungen festzustellen und zudokumentieren.

→ Status Quo = Planfall 1.1

Die künftige Verkehrslärmbelastung infolge Prognose-Verkehr 2015 bei 4-streifigem Ausbau des Teilbereiches der Ldstr. B 67a Grazer Ringstraße für die Anrainerbereiche zu ermitteln.

→ SÜDGÜRTEL = Planfall 2.1

Feststellen der Wohnbereiche mit Grenzwertüberschreitung im Sinne der derzeit gültigen Richtlinie für Lärmschutz an Landesstraßen

Bei Überschreitung der Immissionsgrenzwerte in den Wohnbereichen sind technisch mögliche Schutzmaßnahmen zu konkretisieren.

Ermittlung der Prognoselärmbelastung mit eventuellen Schutzmaßnahmen im Planungsfall

Unterlagen:

Folgende planliche und technische Unterlagen wurden verwendet:

- Auswertung der händischen Straßenverkehrszählung 2000 auf Bundesstraßen, zur Verfügung gestellt vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
- Verkehrsdaten aus der Jahresübersicht der Straßenverkehrszählung, bearbeitet und zur Verfügung gestellt von der Stmk. Landesregierung FA 18A
- Verkehrsuntersuchung zum Südgürtel, erstellt von IBV Fallast, Graz
- Digitale Katasterdarstellung im Untersuchungsgebiet, zur Verfügung gestellt von der Stmk. Landesregierung
- Höheninformationen aus der Luftbilddauswertung (DHM), erstellt vom BEV, zur Verfügung gestellt von der Stmk. Landesregierung
- Einreichprojekt 2005, Abschnitt SÜDGÜRTEL mit Ergänzungen und Korrekturen bis Juli 2005
- Lärmtechnische Voruntersuchung 1999 zum Vorprojekt, durchgeführt vom Ingenieurbüro ZT – KEG Dr. Friedl – Dr. Rinderer, Graz
- Dienstanweisung betreffend Lärmschutz an Bundesstraßen des BM.f.w.A., Wien Zl.890.040/2-VI/14a/99
- Richtlinie für Lärmschutz an den Landesstraßen der Stmk. Landesregierung vom November 2002, mit Freigabe Juli 2003
- Rechenverfahren nach RVS 3.02 Umweltschutz / Lärmschutz, Ausgabe Dezember 1997, Forschungsgesellschaft für das Verkehr- und Straßenwesen Verbindlichkeitserklärung mit Wirksamkeit ab 01.10.1998, erteilt durch das Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten
- ÖNORM S5021/Teil 1 Schalltechnische Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung
- Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90), Ausgabe 1990 vom Bundesminister für Verkehr, Deutschland
- Computerprogramm für schalltechnische Berechnungen und Bemessungen, entwickelt von der Ziviltechniker KEG Rinderer & Partner, Graz
- Räumliche Berechnung mit SoundPLAN 6.2, entwickelt von Braunstein & Berndt, Deutschland
- Resultate von Planungsbesprechungen mit den zuständigen Referenten des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung

Projektentwicklung und Berechnungsmethoden:

Der Planungsablauf der vorliegenden Überarbeitung der Detaillärmschutzuntersuchung gliedert sich in mehrere Bearbeitungsschritte:

Erfassung des Ist-Zustandes

Topographische Verhältnisse

Erstellen des Lageplans, welcher die lage- und höhenmäßige Verbauung darstellt, wobei hier der gesamte, durch den Verkehrslärm derzeit und voraussichtlich durch KFZVerkehr auf dem Südgürtel beeinflusste Bereiche erfasst wurden. Als Grundlage wurden das Einreichprojekt, sowie der digitale Kataster verwendet, durch Zusatzinformationen ergänzt und in eine für die lärmtechnische Bearbeitung erforderliche Form gebracht.

— Bestehende Lärmsituation

Zur Feststellung der bestehenden Lärmsituation und der Schallausbreitungsbedingungen wurden Schallmessungen mit gleichzeitiger Verkehrszählung im Zuge des Vorprojekts durchgeführt. Die Messwerte wurden in den Messprotokollen (LTVU Einlage 5) und die Lage der Messpunkte in den Immissionsplänen dokumentiert.

Aus den Messprotokollen sind auch die Momentanmessergebnisse der Schallmessungen, wie Grundgeräusch-, Mittelungs- und Spitzenpegelwerte ersichtlich.

Die kalibrierten und hochgerechneten Messwerte dienten als Grundlage für das Bewertungskriterium zur Beurteilung der Lärmsituation infolge Straßenverkehrslärm auf der Südgürteltrasse im Zuge der Ldstr. B 67a Grazer Ringstraße im Untersuchungsbereich.

Die Ist-Situation im relevanten Untersuchungsraum wurde bereits in der LTVU 1999 zum Vorprojekt, sowie in der KWA dokumentiert.

Berechnung und Darstellung des Prognosezustandes

Ziel dieses Bearbeitungsschrittes war die Lärmsituation entlang des bestehenden Wegenetzes und des geplanten Verkehrsträgers für das Zieljahr 2015, den Planungsfall, sowie ev. erforderliche Maßnahmen zu berechnen und in einer Lärmkarte und in Immissionsplänen darzustellen.

Ermittlung der maßgebenden Verkehrsmengen

Die IST-Verkehrswerte für den JDTV wurden für das Jahr 2004 aufgrund der Ergebnisse der händischen Straßenverkehrszählung und der Verkehrsdatenangaben aus der LTVU zum Vorprojekt, sowie aufgrund einer Verkehrsuntersuchung zum Knoten Ost und Südgürtel, erarbeitet von IBV Fallast – Graz, erstellt.

**Überblick der Planfälle laut Verkehrsuntersuchung
GRAZ SÜDOST von IBV Fallast**

Planfall 0.0	Bestand 2004
Planfall 0.1	Bestandsnetz 2004 mit Prognoseverkehr 2015
Planfall 1.1	VERGLEICHSPANFALL Prognoseverkehr 2015 mit 2. Röhre Plabutschunnel, UFT Feldkirchen mit Unterführung L 377, Unterführung Gradnerstraße, Rückbau des A 2 Zubringers mit den Anschluss- stellen Styriastraße, Sternäckerweg u. Dr. Lister Gasse sowie Umwidmungen entlang des Liebenau- und St. Peter Gürtels
Planfall 2.1	PLANFALL Prognoseverkehr 2015 mit Projekten im Grazer Südosten Erweiterung Knoten Ost, Südgürtel Graz und OUF Hausmannstätten

**Zusammenstellung der Verkehrswerte als JDTV u. LKW %
im relevanten Wegenetz in der Prognose 2015**

Teilabschnitt	Planfall 1.1 Vergleichsplanfall	Planfall 2.1 SÜDGÜRTEL
<i>Ldstr. B 67a</i>		
Puntigamer Straße, westlich Murbrücke	44.330 6,8 %	45.090 7,2 %
Puntigamer Straße, östlich Murbrücke	29.510 9,2 %	16.670 4,7 %
Puntigamer Straße, nördlich Casalgasse	36.220 8,5 %	20.570 4,9 %
Liebenauer Gürtel	17.330 12,6 %	23.890 9,5 %
<i>Ldstr. B 73</i>		
Liebenauer Hauptstraße, nördlich Krzg. Gürtel	24.100 5,5 %	19.780 5,0 %
Liebenauer Hauptstraße, südlich Krzg. Gürtel	24.700 11,7 %	26.250 7,4 %
Casalgasse, nördlich Huteggerstraße	13.570 2,6 %	7.720 3,0 %
Casalgasse	10.240 2,0 %	5.330 3,0 %
Casalgasse, nördlich Engelsdorfer Straße	1.860 2,0 %	2.750 2,0 %

Teilabschnitt	Planfall 1.1 Vergleichsplanfall	Planfall 2.1 SÜDGÜRTEL
Engelsdorfer Straße, Nord	7.960 2,0 %	3.490 2,0 %
Engelsdorfer Straße, Mitte	6.590 2,0 %	4.910 2,0 %
Engelsdorfer Straße, Süd	6.140 2,0 %	3.470 2,0 %
Murfelder Straße, südlich Puntigamer Straße	14.850 2,3 %	4.060 7,5 %
Huteggerstraße, südlich Casalgasse	4.550 2,0 %	3.180 3,1 %
Konrad – Hopferwieser – Gasse	3.210 2,3 %	3.230 2,7 %
Stangelmühlstraße	6.160 2,0 %	1.530 3,0 %
Dorfstraße	6.140 2,0 %	3.470 2,0 %

Die LKW – Anteile für den Nachtzeitraum wurden für das Hauptwegenetz mit 2,0 % und für das Sekundärwegenetz mit 0,5 % der täglichen Verkehrsstärken festgelegt. Die Bemessungsfaktoren für die Verkehrslärberechnungen wurden mit 0,065 bei Tag und 0,013 bzw. 0,007 (für das Sekundärwegenetz) bei Nacht der Berechnung zugrundegelegt.

Schalltechnische Berechnungen Lärmkarte

Als Grundlage für die Immissionsberechnung infolge Straßenverkehr dienten die Vorgaben nach Dienstanweisung des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten, ZI. 890.040/2-VI/14a/99, sowie die Rechenmethode der RVS 3.02.

Folgende Leq (A)-Werte wurden theoretisch für den Emissionsschallpegel im Normalabstand von 1 m von einer Fahrspur für die PROGNOSE-Lärmkarte berechnet.
Aus dieser Berechnung der Emissionsschallpegel sind die DTV-Werte, LKWProzentanteile und die maßgebenden Geschwindigkeiten getrennt für PKW und LKW ersichtlich.

Zusammenstellung der Emissionsschallpegel
ausgewählter Teilabschnitte für den JDTV Prognose 2015

Teilabschnitt	KFZ/24 Std./LKW	V _{zul} PKW/LKW	L _{eq} 1 T/N
Bestandsnetz			
Puntigamer Straße, östl. Murbrücke	29.510, 9,2/2,0 %	50/50	81,1/73,1
Liebenauer Hptstr., nördl. Gürtel	24.100, 5,5/2,0 %	50/50	79,8/72,2
Liebenauer Hptstr., södl. Gürtel	24.700, 11,7/2,0 %	50/50	80,7/72,3
Casalgasse, nördl. Hutteggerstr.	13.570, 2,8/1,0 %	30/30	71,0/61,2
Casalgasse, Mitte	10.240, 2,0/0,5 %	30/30	69,7/59,8
Engelsdorfer Straße, Mitte	6.590, 2,0/0,5 %	40/35	71,0/61,1
Murfelder Straße	14.850, 2,3/0,5 %	(50/50)	77,1/67,2
Stangelmühstraße	6.160, 2,0/0,5 %	30/30	67,5/57,6
Planfall mit Restverkehr im Bestandsnetz			
Puntigamer Straße, östl. Murbrücke	16.670, 5,5/2,0 %	50/50	78,2/67,7
Liebenauer Hptstr., nördl. Gürtel	19.780, 5,0/0,5 %	50/50	78,9/68,5
Liebenauer Hptstr., södl. Gürtel	26.250, 7,4/0,5 %	50/50	80,5/72,4
Casalgasse, nördl. Hutteggerstr.	7.720, 3,0/0,5 %	30/30	68,6/58,6
Casalgasse, Mitte	5.330, 2,0/0,5 %	30/30	66,9/57,0
Engelsdorfer Straße, Mitte	4.910, 2,0/0,5 %	40/35	69,7/59,9
Murfelder Straße	4.060, 7,5/0,5 %	(40/30)	69,1/59,0
Stangelmühstraße	1.530, 3,0/0,5 %	30/30	61,7/51,5

Ermittlung der Schallimmissionen

Zur Ermittlung der Schallimmissionen gibt es mit der Schallpegelmessung und der Berechnung der Schallpegel zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren. Entsprechend den verschiedenen Charakteristiken der beiden Verfahren sind auch ihre Ergebnisse verschieden zu interpretieren.

Schallpegelmessungen

Die Ergebnisse von Schallpegelmessungen stellen grundsätzlich immer eine Momentaufnahme über den Messzeitraum dar. Es ist aufgrund des unterschiedlichen Wagenmaterials, der unterschiedlich gefahrenen Geschwindigkeiten usw. auch bei der Wahl eines längeren Messzeitraumes schwer möglich, repräsentative Messergebnisse zu erhalten. Die meteorologischen Bedingungen wie Luftfeuchtigkeit, Wind und Temperatur haben ebenso großen Einfluss auf die Messergebnisse wie die Ausbreitungsbedingungen (Bewuchs, lokale Reflexionen, Abschirmungen). Andererseits ist es über Schallpegelmessungen möglich, rechnerisch nicht quantifizierbare Einflüsse zu erfassen. Durch Schallpegelmessungen können weiters die charakteristischen Häufigkeitsverteilungen (z.B. Dauerschallpegel, Grundgeräuschpegel L95, Spitzenpegel L01, Maximalpegel) der Schallereignisse ermittelt werden. Diese Messgrößen, z.B. die Differenz zwischen Grundgeräuschpegel und energieäquivalentem Dauerschallpegel sind vor allem für die Beurteilung der Störwirkung von Lärm wichtig. Schallpegelmessungen dienen daher in erster Linie zur Kalibrierung von Rechenmodellen zur Bestimmung von Schallpegeln.

Die Schallmessungen wurden im Jahre 1995 im Zuge der Generellen Planung und im Jahre 1999 im Zuge des Vorprojektes durchgeführt.

Für die Ermittlung der energieäquivalenten Dauerschallpegel (LA, eq) und der statistischen

Schallpegel wurden amtlich geeichte Schallpegelmesser mit Freifeldmikrophon der Firma Brüel & Kjaer verwendet. Vor und nach der Messserie wurde die gesamte Messkette von Messmikrofonen bis zu den Anzeigegeräten mit einer geeichten Prüfschallquelle kalibriert.

Durch die Lärmmessungen wurden die im IST-Zustand (Status Quo) auftretenden Lärmimmissionsbelastungen festgestellt. Zur Kennzeichnung der Stärke der Schallimmissionen wurden folgende Kennwerte am Lärmmessgerät angezeigt und in Messprotokollen vermerkt.

$L_{A,eq}$	[dB]	Äquivalenter Lärmpegel
$L_{A,min}$	[dB]	Minimaler Schallpegel in der Messperiode
$L_{A,max}$	[dB]	Maximaler Schallpegel in der Messperiode
L_{G}	[dB]	Basispegel / Grundgeräuschpegel
L_{01}	[dB]	Mittlerer Spitzenpegel (1 %)

Die Schallmessungen die im Zuge der Lärmtechnischen Voruntersuchung 1999 als Grundlage dienten, wurden für die gegenständliche Überarbeitung nach RVS 3.02 nicht hochgerechnet, nachdem sich mit der Dienstanweisung 1999 einige Randbedingungen geändert haben.

Zusammenstellung Messpunkte

Messpunkt / Örtlichkeit	Messwert L_{eq} [dB]	Prognose 2015 Planfall 1.1 (STQ)	Grenzwert $L_{eq,A}$ [dB]
MP 2 _{EG} Speidlgasse 3	T 59,4	56 / 48	60 / 50
MP 3 _{FR} Puntigamerstraße 70	T 65,8	65 / 57	60 / 50
MP 24 _{FR} Konrad-Hopfenwieser-Gasse 16	T 50,5	56 / 47	60 / 50
MP 25 _{FR} Casalgasse 79	T 55,7	56 / 48	60 / 50
MP 36 _{7,OG} Stanglmühlstraße 7	T 55,0	53 / 45	58 / 50
MP 37 _{FR} Stanglmühlstraße 9	T 59,2	54 / 45	59 / 50
MP 38 _{FR} Engelsdorfer Straße 47	T 49,2	52 / 43	57 / 48
MP 39 _{FR} Liebenauer Hauptstraße 202a	50,2 / 46,7	52 / 44	57 / 49
MP 40 _{FR} Liebenauer Hauptstraße 210a	T 52,2	55 / 47	60 / 50
MP 41 _{FR} Stanglmühlstraße 25	51,1 / 43,0	48 / 39	55 / 45
MP 42 _{FR} Rainweg 42	T 48,0	46 / 37	55 / 45
MP 43 _{FR} Hutteggerstraße 15a	T 45,0	47 / 38	55 / 45
MP 44 _{FR} Quergasse 5/1	T 46,2	49 / 39	55 / 45
MP 45 _{1,OG} Murfelderstraße 31	62,3 / 60,0	63 / 53	60 / 50

Berechnungsmodelle

Straßenverkehrslärm

Die Berechnung erfolgte nach den Formeln und Parametern der Dienstanweisung des Bundesministeriums, Zl. 890.040/2-IV/14a/99, bzw. der RVS 3.02 mit Stand Dezember 1997. Die Ermittlung der Korrekturen für die Transmission (Abstandsmaß, Bodendämpfung, Abschirmung, usw.) erfolgte mit Hilfe eines räumlichen Geländemodells und der EDV-Software SoundPLAN 6.2 von Braunstein + Berndt GmbH, Deutschland, sowie mit dem von der Ziviltechniker KEG Rinderer & Partner entwickelten EDV-Programm gemäß RVS 3.02 (siehe Pkt. 4 des gegenständlichen Berichtes).

Lärmsituation Verkehrslärm und deren Beurteilung

Als Grundlage für die Beurteilung von Straßenverkehrslärm wurden ausschließlich physikalisch messbare bzw. wissenschaftlich abgesicherte Größen verwendet. Subjektive Einschätzungen wurden nicht berücksichtigt.

Die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte gewährleistet, dass Beeinträchtigungen der

betroffenen Bevölkerung durch den von Landesstraßen ausgehenden Verkehrslärm, unter Beachtung wirtschaftlicher Gesichtspunkte, verhindert oder soweit wie möglich herabgesetzt werden. Wenn die, nach Punkt 3.2.2 ermittelte Lärmsituation im maßgebenden Immissionsort den Immissionsgrenzwert übersteigt, so sind entsprechende Lärmschutzmaßnahmen vorzusehen, soweit diese technisch durchführbar und in Hinblick auf die erzielbare Wirkung wirtschaftlich vertretbar sind.

Als Immissionsgrenzwerte sind

Lgr (Tag) = 60 dB für die Tagesstunde
(06:00 bis 22:00 Uhr)

Lgr (Nacht) = 50 dB für die Nachtstunde
(22:00 bis 06:00 Uhr)

durch die Richtlinie für Lärmschutz an Landesstraßen (RILL) festgelegt.

Für geplante Straßen in besonders ruhigen Gebieten, das sind Gebiete mit einem Fremdgeräuschpegel (bei dem aber Bahn- und Fluglärm nicht zu berücksichtigen sind) von weniger als 50 dB bei Tag und 40 dB bei Nacht, gelten Grenzwerte von 55 dB tags und 45 dB nachts. Bei geplanten Straßen in ruhigen Gebieten mit einem Fremdgeräuschpegel zwischen 50 dB und 55 dB tags sowie 40 dB und 45 dB nachts, sind die zu ermittelten Grenzwerte zwischen den Grenzwerten 60 und 55 dB tags und 50 und 45 dB nachts linear zu interpolieren.

Aus der Sicht des Gesundheitsschutzes (und hier insbesondere der Freiraumschutz = Aufenthalt im Freien) sind für den Zeitraum Tag (06.00 – 22.00 Uhr) 55 dB als energieäquivalenter Dauerschallpegel und für den Zeitraum Nacht (22.00 – 06.00 Uhr) 45 dB als anzustrebender Richtwert anzusetzen (Ableitung aus dem Nationalen Umweltplan sowie der Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation)

Einsatz von Lärmschutzmaßnahmen

Durch den Bau von Lärmschutzmaßnahmen an der Straße (straßenseitige Maßnahmen, aktive Maßnahmen) können im Gegensatz zu Maßnahmen unmittelbar an den Häusern (objektseitige Maßnahmen, passive Maßnahmen) auch Freiräume (Haus- oder Vorgärten etc.) geschützt werden.

Somit ist bei Überschreiten der maßgebenden Immissionsgrenzwerte der Freiraumschutz dem Objektschutz grundsätzlich vorzuziehen.

Unter diesem Gesichtspunkt werden von der Bundesstraßenverwaltung Lärmschutzmaßnahmen an der Straße auch dann noch als wirtschaftlich vertretbar erachtet, wenn die hierfür aufzuwendenden Kosten das sechsfache der Herstellungskosten passiver Maßnahmen für schutzwürdige Häuser nicht übersteigen.

Die Kosten passiver Schutzmaßnahmen können im Normalfall mit einem Durchschnittswert (Mittelwert über Fenster-, Tür- und Lüfterkosten) von derzeit EUR 1.000,-/

Gebäudeöffnung (ausschließlich Wohn- und Schlafräume) brutto angenommen werden.

Bei einer Kostengegenüberstellung sind nur die Aufwendungen für schutzwürdige Häuser einzurechnen.

Schutzwürdig im Sinne der Richtlinie für Lärmschutz an Landesstraßen sind im Normalfall Häuser, die:

- eine Grenzwertüberschreitung aufweisen und
- bereits vor dem Bau der Straße vorhanden waren oder
- wenn zum Zeitpunkt der Erteilung der Baubewilligung bzw. des Erwerbes (Kauf,

Tausch bzw. auch Abschluss eines Mietvertrages, ausgenommen Erwerb durch Erbschaften) eines Gebäudes nicht bekannt sein konnte, dass in diesem Bereich mit erheblichen Lärmbelastungen gerechnet werden musste (z.B. Vorliegen von § 4- oder § 14-Verordnungen bzw. § 47 Landesstraßenverwaltungsgesetz 1964 i. g. F.).

Die Kosten der Wirtschaftlichkeitsprüfung aktiver Schutzmaßnahmen umfassen Fundierung, Steher und Wandelemente (liefern und versetzen) bzw. bei Dämmen: Bereitstellung des Grundes, Schüttmaterial liefern, Herstellen des Dammkörpers und der Entwässerung, Aufbringen von Oberboden auf Böschungen einschließlich aller Nebenarbeiten.

Diese Kosten können bei Lärmschutzwänden im Normalfall ausreichend genau mit derzeit brutto 180 €/m² Abschirmfläche angenommen werden.

Maßnahmen an der Straße sind so zu bemessen, dass Beeinträchtigungen der Wohnbevölkerung durch den Straßenverkehrslärm von Landesstraßen so weit herabgesetzt werden, als dies mit einem im Hinblick auf den erzielbaren Zweck wirtschaftlich vertretbaren Aufwand erreicht werden kann, sofern die Beeinträchtigung nicht wegen der Art der Nutzung des benachbarten Geländes zumutbar ist.

Grundlage für die Bemessung der Lärmschutzmaßnahmen ist der Immissionsgrenzwert – d.h. die Lärmschutzmaßnahme soll den Verkehrslärm so weit reduzieren, dass der Immissionsgrenzwert erreicht wird. Ist dies mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand nicht möglich, kann auch eine Kombination von aktivem Lärmschutz (zur Abschirmung tiefer gelegener Wohn- und Schlafräume und des Freiraumes) und Lärmschutzfenstern (z.B. zur Abschirmung höher gelegener Wohn- und Schlafräume) gewählt werden.

Durch die lärmtechnische Bearbeitung des Projektes soll die Einhaltung der Grenzwerte und im gegenständlichen Fall die Einhaltung der Vorgaben aus der UVP gewährleistet werden.

Bestand B67a

Die Grazer Ringstraße führt über den mit Wirtschaftsbetrieben angesiedelten Liebenauer Gürtel zur Liebenauer Hauptstraße, ebenfalls eine Landesstraße mit der Bezeichnung Ldstr. B 73 Kircherbachen Straße, und wird versetzt nach Norden, über die Puntigamer Straße nach Westen, Richtung Puntigam geführt. Das hohe Verkehrsaufkommen verursacht naturgemäß bei den Anwohnern des hochrangigen Straßennetzes im Grazer Stadtgebiet eine erhöhte Lärmimmissionsbelastung. Darüber hinaus wird auch das Wohngebiet in Murfeld betroffen, weil bei einem erhöhten Verkehrsaufkommen auf dem Hauptwegenetz ortskundige Verkehrsteilnehmer das Sekundärnetz in Anspruch nehmen. So sind auch im Schleichwegenetz wie Murfelderstraße, Casalgasse und Engelsdorfer Straße KFZ – Lärmimmissionen über festgeschriebene Immissionsgrenzwerten an der Tagesordnung.

Die Darstellung der IST – Lärmsituation und der zukünftigen Lärmsituation im Status Quo des Gesamtnetzes ist nicht Gegenstand der vorliegenden DLU. Eine Untersuchung des relevanten Gesamtnetzes wurde im Zuge des Vorprojektes 1999 durchgeführt. Im gegenständlichen Fall wird im Zuge des Einreichprojektes nur der trassenbezogene Untersuchungsraum detailliert untersucht.

Neubau B67a

Die Trassierung der Landesstraße B 67a, der Verbindung Murbrücke Puntigam mit dem Liebenauer Gürtel, orientiert sich im Grund- und Aufriss an der Engelsdorferstraße.

Durch diese Neutrassierung der Landesstraße wird das Schleichwegenetz zum Teil deutlich entlastet und im Bereich der Hauptverkehrsträger, nördlich des Südgürtel, ist ebenfalls mit einer Verbesserung der KFZ – Verkehrslärmimmissionsbelastung zu rechnen. So in Teilbereichen die schonende Linienführung für die Einhaltung von Immissionsgrenzwerten nicht ausreicht, wurde die Neubautrasse im Zuge des Einreichprojektes so optimiert, dass keine zusätzlichen LS – Maßnahmen erforderlich sind.

**ZUSAMMENSTELLUNG RELEVANTER MESSPUNKTE
IM UNTERSUCHUNGSGEBIET AUS VORPROJEKTEN
IN DER PROGNOSE 2015**

Messpunkt / Örtlichkeit	Planfall 1.1 (STQ)	Planfall 2.1 SÜDGÜRTEL	Grenzwert $L_{\text{eq,A}}$ [dB]
MP 2 _{EG} Speidlgasse 3	56 / 48	57 / 49	60 / 50
MP 3 _{FR} Puntigamerstraße 70	65 / 57	62 / 52	60 / 50
MP 24 _{FR} Konrad-Hopferwieser-Gasse 16	56 / 47	54 / 44	60 / 50
MP 25 _{FR} Casalgasse 79	56 / 48	56 / 47	60 / 50
MP 36 _{OG} Stanglmühlstraße 7	53 / 45	52 / 43	58 / 50
MP 37 _{FR} Stanglmühlstraße 9	54 / 45	48 / 39	59 / 50
MP 38 _{FR} Engelsdorfer Straße 47	52 / 43	50 / 41	57 / 48
MP 39 _{FR} Liebenauer Hauptstraße 202a	52 / 44	50 / 42	57 / 49
MP 40 _{FR} Liebenauer Hauptstraße 210a	55 / 47	54 / 45	60 / 50
MP 41 _{FR} Stanglmühlstraße 25	48 / 39	57 / 37	55 / 45
MP 42 _{FR} Rainweg 42	46 / 37	45 / 35	55 / 45
MP 43 _{FR} Hutteggerstraße 15a	47 / 38	47 / 38	55 / 45
MP 44 _{FR} Quergasse 5/1	49 / 39	48 / 39	55 / 45
MP 45 _{OG} Murfelderstraße 31	63 / 53	58 / 48	60 / 50

Die Darstellung der Berechnungsergebnisse mittels Lärmkarten erfolgt, obwohl in erster Linie der Nachtzeitraum relevant ist, für den Zeitraum Tag und Nacht. Detaillierte Immissionswerte, sowohl für den Tag- als auch den Nachtzeitraum, sind aus den Schalltechnischen Berechnungen (Einlage 4) sowie aus dem Immissionsplan, Prognose 2015 PLANFALL 2.1 (Einlage 5.1) zu entnehmen.

Darstellung der Auswirkungen durch Lärm

Aufgrund der unter Punkt 3.3 angegebenen Grenzwerte und den Kriterien der letztgültigen Richtlinie für Lärmschutz an Landesstraßen wird im folgenden für den gegenständlichen Untersuchungsbereich die Lärmstörung bzw. das Erfordernis von Lärmschutzmaßnahmen aufgezeigt.

Im trassenbezogenen Untersuchungsbereich im Bezirk Liebenau wird durch den Neubau der Ldstr. B 67a Grazer Ringstraße bei keinem Wohnobjekt ein Immissionswert größer 50dB nachts, wodurch ein Anspruch auf LS-Maßnahmen im Sinne der Richtlinie für Lärmschutz gegeben wäre. Im übergeordneten Verkehrsnetz gibt es derzeit und im Prognosezeitraum im Status Quo Immissionsgrenzwertüberschreitungen.

Durch den Neubau tritt eine Verbesserung der Immissionsverhältnisse bezüglich KFZ – Verkehrslärm ein.

Bereich Puntigamerstraße – Casalgasse West
(Murbücke bis Ziehrerstraße)

IST-Zustand Leq ≤ 65/57 dB
Planfall 2.1 / SÜDGÜRTEL Leq ≤ 62 / 52 dB

Aktiver und / oder passiver Lärmschutz
grundsätzlich möglich
Verbesserung durch Planfall 2.1 Südgürtel
Zielpegel 50 dB im Nachtzeitraum

Bereich Liebenauer Hauptstraße
(nördlich und südlich Liebenauer Gürtel)

IST-Zustand Leq ≤ 69/61 dB
Planfall 2.1 SÜDGÜRTEL Leq ≤ 68/58 dB

Aktiver und / oder passiver Lärmschutz
grundsätzlich möglich
Zielpegel 50 dB im Nachtzeitraum

Bereich Murfeld
(Schleichwegenetz)

IST-Zustand Leq ≤ 63/53 dB
Planfall 2.1 SÜDGÜRTEL Leq ≤ 58/48 dB

Aktiver Lärmschutz nicht erforderlich
Zielpegel 50 dB – 45 dB im Nachtzeitraum

— Lärmschutzmaßnahmen:

Da in den gegenständlichen Siedlungsbereichen im trassenbezogenen Untersuchungsraum keine Immissionsgrenzwertüberschreitungen sein werden, sind keine zusätzlichen aktiven Lärmschutzmaßnahmen erforderlich.

Die Errichtung zusätzlicher passiver Schutzmaßnahmen entlang des bestehenden Hauptverkehrswegenetzes ist denkbar und steht grundsätzlich im Einklang mit den Kriterien der Richtlinien für Lärmschutz an Landesstraßen.

Bei den Wohnverbauungen werden sich bei den untersuchten Objekten im Prognosezeitraum 2015 nach Errichtung des SÜDGÜRTELS Immissionswerte von 43 – 63 dB am Tag und 33 – 54 dB in der Nacht ergeben.

Zusammenstellung der Immissionswerte Prognose 2015
relevanter Immissionsorte

Wohnobjekt/Örtlichkeit		Immissionswerte Tag/Nacht, Prognose 2015			
		Status Quo	Grenzwert L _{eq, A}	Planfall 2.1 SÜDGÜRTEL	ΔL _H STQ - PLF
<i>Teilbereich Puntigamer Straße und Liebenauer Hauptstraße</i>					
ZACH Gottfried	EG-S OG	63/55 63/55	60/50	60/50 60/50	- 5 dB - 5 dB
8041 Puntigamerstraße 70	MP3 FR	65/57		62/52	- 5 dB
LANG Rosa	EG-S OG	66/58 66/58		58/51 59/52	- 7 dB - 6 dB
8041 Speidlgasse 1					
FINK Gerhard u. Regina	EG-W	69/61	60/50	67/57	- 4 dB
8041 Liebenauer Hauptstr. 189					
WEBER – LEGATH Elfriede	EG-SW OG	64/56 64/56	60/50	62/54 63/54	- 2 dB - 2 dB
8041 Liebenauer Hauptstr. 201					
PRASSL Anna Rosa	EG-NO	65/57	60/50	63/55	- 2 dB
8041 Liebenauer Hauptstr. 208					
PRASSL Alois	EG-NO	53/44	58/49	52/44	± 0 dB
8041 Liebenauer Hauptstr. 210a					
STEINER Margit u. Mitbesitzer	EG-SO 3. OG	51/43 53/45	56/48 58/50	50/41 51/43	- 2 dB - 2 dB
8041 Stangelmühlstraße 7	MP36 7. OG	53/45	58/50	52/43	- 2 dB

Im Hauptwegenetz ergeben sich durch den Betrieb des Südgürtels und somit einer Verkehrsumlegung positive Änderungen in der Größenordnung von bis zu -7 dB. Jedoch gibt es nach wie vor Immissionsgrenzwertüberschreitungen entlang des Hauptwegenetzes im Nachtzeitraum; so Schlafräume betroffen sind, können grundsätzlich passive Maßnahmen gefördert werden.

Wohnobjekt/Örtlichkeit		Immissionswerte Tag/Nacht, Prognose 2015			
		Status Quo	Grenzwert $L_{eq, A}$	Planfall 2.1 SÜDGÜRTEL	ΔL_{11} STQ - PLF
<i>Teilbereich Schleichwegenetz Murfeld</i>					
BARDAS Grigore u. Sofia 8041 Murfelder Straße 7 (Fröhlichgasse 85)	EG-NW	60/52	60/50	61/52	±0 dB
SCHATZ Horst u. Mitbesitzer 8041 Murfelder Straße 27	EG-SW OG	62/52 62/52	60/50	57/47 58/48	- 5 dB - 4 dB
KARNER Wolfgang u. Mitbesitzer 8041 Murfelder Straße 31	MP45 OG	63/53	60/50	58/48	- 5 dB
FRIEDL Rupert Dr. 8041 Casalgasse 79	EG-O MP25 FR	61/52 61/51 56/48	60/50 60/50	56/47	- 1 dB
AFFENBERGER Helmut u. Mirjana 8041 Casalgasse 56	EG-S	56/46	60/50	51/41	- 5 dB
RING Andreas Ing. 8041 Engelsdorferstraße 10	EG-NO OG	61/51 61/51	60/50	55/45 55/45	- 6 dB - 6 dB
LEBERNEGG Maria u. Mitbesitzer 8041 Engelsdorfer Straße 47	EG-NW 3. OG 7. OG	54/44 54/44 53/43	59/49 58/48	47/37 49/39 49/39	- 7 dB - 5 dB - 4 dB
SPINDLER Gertraud u. Mitbesitzer 8041 Konrad Hopfenwieser Gasse 15	EG-SW 3. OG	52/43 53/43	57/48 58/48	51/41 52/42	- 2 dB - 1 dB
FLUCH Herbert u. Mitbesitzer 8041 Stanglmühlstraße 9	EG-SO 3. OG 7. OG	47/39 49/41 50/42	55/45 55/46 55/47	46/37 48/40 49/40	- 2 dB - 1 dB - 2 dB
KLEINHAPPEL Ingrid 8041 Stanglmühlstraße 25	MP41 FR	48/39	55/45	47/37	- 2 dB
FALLER Richard 8041 Rainweg 42	EG-NO OG MP42 FR	44/35 45/36 46/37	55/45	43/33 44/34 45/35	- 2 dB - 2 dB - 2 dB

Umweltauswirkungen des Vorhabens

Untersuchungsraum

Der formale Untersuchungsraum gemäß UVP – Gesetz bezüglich der Neubaumaßnahme SÜDGÜRTEL entspricht der Standortgemeinde: Stadt Graz mit dem Bezirk VII Liebenau in den Kastralgemeinden Liebenau und Engelsdorf

Anrainergemeinde: Graz-Umgebung mit den Gemeinden Gössendorf und Raaba

Der funktionale Untersuchungsraum wird primär über die betriebliche Veränderung im relevanten Stadtbezirkswegenetz getroffen.

Der trassenbezogene Untersuchungsraum entspricht den direkt beanspruchten und beeinflussten Flächen im Neubaukorridor beginnend bei der Murbrücke Puntigam über das Murfeld bis zum Liebenauer Gürtel.

In der gegenständlichen Untersuchung wird in erster Linie die Umweltverträglichkeit in der Planungsstufe eines Detailprojektes aufgezeigt.

Untersuchungsrahmen

Im Objektivierungsprozess der Suchphase zu einer verkehrswirksamen und konfliktarmen B 67a Landesstraßenverbindung, wurde im Sinne der UVP – Terminologie auch

der inhaltlich relevante Untersuchungsrahmen eingengt. □ siehe Kapitel 3 des UVE – Berichtes.

Demnach erfolgt die Beschreibung der Umweltauswirkungen infolge KFZ - Verkehrslärm in Gliederung der UVE wie folgt:

- IST – ZUSTAND
- AUSWIRKUNGEN
- MASSNAHMEN
- RESTBELASTUNG

Zu der so festgelegten inhaltlichen Abgrenzung des Untersuchungsrahmens geht die zeitliche Abgrenzung vom Analysezeitpunkt 2004 aus und der Prognosehorizont im Sinne der relevanten Verkehrsumlegungen wurde mit 2015 festgelegt.

Untersuchungsmethodik

Die Gegenüberstellung von Alternativen im Bezug zum Status Quo und damit auch Darlegung des Unterbleibens des Vorhabens ist bereits im generellen Planungsstadium vor- / nachteilhaftig zu einer Umweltbilanz ausführlich dokumentiert worden.

Wie umweltverträglich diese Neubaumaßnahme SÜDGÜRTEL mit möglichen kompensatorischen Begleitmaßnahmen im trassenbezogenen Untersuchungsraum ist, soll über eine allgemein verständliche Beurteilungsmatrix nachvollziehbar auf Restbelastung im Sinne der UVE Gliederung eingeschätzt werden.

Die maßgebenden Verkehrsmengen für die einzelnen Belastungszustände werden in den schalltechnischen Berechnungen dokumentierten Angaben für den Status Quo und den geplanten Neubauzustand des SÜDGÜRTELS für den Tag- und Nachtzeitraum herangezogen.

Die Emissions- und Immissionsberechnung wird nach RVS 3.02 durchgeführt. Für die Anzahl der unterschiedlichen Kraftfahrzeuge dient die Verkehrsuntersuchung IBV - Fallast als Grundlage.

Für die Grenzwertfeststellung sind die Vorgaben der Richtlinie für Lärmschutz in der Steiermark (RiLL) maßgebend. Generell ist für den Tagzeitraum (6:00 – 22:00 Uhr) der Immissionsgrenzwert $L_{eq} A 60$ dB und für den Nachtzeitraum (22:00 – 6:00 Uhr) $L_{eq} A 50$ dB maßgebend. Für besonders ruhige Gebiete gelten um 5 dB geringere Immissionsgrenzwerte.

Die bestehende Wohnverbauung im Bezirk Liebenau wird durch die Hauptverkehrsträger Ldstr. B 67a Grazer Ringstraße und Ldstr. B 73 Kirchbacher Straße stark vorbelastet. Bei Überlastung des Primärwegenetzes wird das Sekundärwegenetz benützt, was für die reine Wohnverbauung in Murfeld vor allem in den Morgenstunden und am Nachmittag infolge hoher KFZ – Frequenzen teilweise hohe KFZ – Immissionsbelastung verursacht.

Teilabschnitt	L_{eq} Nacht	L_{eq} Tag	Einstufung
Hauptwegenetz Ldstr. B 67a u. Ldstr. B 73	>> 50 dB	>> 60 dB	sehr hoch (5)
Murfeldersraße	> 50 dB	> 60 dB	hoch (4)
Schleichwegenetz im Murfeld	< 45 dB	< 56 dB	mittel (3)

Aus der Sicht der Lärmbelastung kann somit die Vorbelastung des IST – Zustandes durchschnittlich mit hoch eingestuft werden.

Eingriffsintensität

Die Errichtung des Südgürtels in Form einer Unterflurtrasse bewirkt grundsätzlich für möglich betroffene Wohnverbauungsbereiche keine Verschlechterung der KFZ - Immissionsbelastung. Die Eingriffsintensität wird somit als **gering** hinsichtlich der Lärmbelastung im Betrieb bewertet.

Das Ergebnis der Verknüpfung der Bewertung des Ist – Zustandes und der Eingriffsintensität stellt sich wie folgt dar:

<i>Ist - Zustand</i>	<i>Eingriffsintensität</i>	<i>Auswirkungen</i>
hoch (4)	keine – sehr gering (1)	mittel (2,5)

Maßnahmenwirksamkeit

Die schonende Linienführung des Südgürtels als Unterflurtrasse und die optimierte Portalsituation ergibt hinsichtlich KFZ – Lärmbelastung bei Wohnbereichen deutliche Verbesserungen in einer Größenordnung von 2 – 7 dB, was zumindest eine Halbierung des Verkehrs und nahezu eine Halbierung des Lautheitsempfindens darstellt.

Die Umlegung des ortsfremden Verkehrs auf dem Südgürtel bringt sowohl auf den Landesstraßen als auch auf den Gemeindestraßen eine Verbesserung.

Demnach kann die Maßnahmenwirksamkeit, die Umlegung des Verkehrs, als KRFK bezeichnet werden. Zusätzliche straßenseitige Maßnahmen sind im Hinblick auf die Immissionsgrenzwerte der RiLL bei Wohnverbauungen entlang des Sekundärnetzes nicht erforderlich.

Bei Wohnverbauungen am Hauptwegenetz sollten, obwohl eine Verbesserung durch die Verkehrsumlegung eintreten wird, passive Maßnahmen, LS – Fenster und Lüfter, bei Schlafräumen gefördert werden.

Restbelastung

Die Beurteilung der Restbelastung erfolgt durch eine Verknüpfung der Auswirkungen und der Maßnahmenwirksamkeit

<i>Auswirkungen</i>	<i>Maßnahmenwirksamkeit</i>	<i>Restbelastung</i>
mittel (2,5)	hoch (3,0)	Verbesserung

Die Veränderung hinsichtlich KFZ - Verkehrslärm ist je nach Vorbelastung und Örtlichkeit unterschiedlich, jedoch wird grundsätzlich bei allen Wohnverbauungen im trassenbezogenen Untersuchungsgebiet eine Verbesserung infolge Umlegung der ortsfremden Verkehre auf den Südgürtel eintreten, was im Sinne der UVP die Einstufung **VERTRÄGLICH** in Bezug auf den Betrieb des Südgürtels (ohne Bauphase) erlaubt.

Aus der Sicht der Anrainernutzung bildet die lineare Emissionsquelle Verkehrslärm den Hauptindikator in Hinblick auf Störwirkung infolge Betrieb. Ein besonderes Anliegen neuzeitlicher Straßenplanung ist es deshalb, durch entsprechende räumliche Trassenführung von vornherein bestmögliche Abschirmungen zum Schutze vor KFZ - Verkehrslärm- Immissionen zu erreichen. Im Zuge der lärmtechnischen Bearbeitung des Vorprojektes 1999 und der gegenständlichen vertieften Bearbeitung zum Einreichprojekt

zeigte sich, dass der Planungskorridor für die Südgürtelvarianten in einem relativ ruhigen Bereich liegt, mit einem Immissionspegel infolge KFZ – Verkehr im Nachtzeitraum je nach Lage der Wohnobjekte von 35 – 53 dB.

Trotz bewusster Planung zu einer effizienten Abschirmung über den Straßenerdbau, war es aus ortsspezifischen Situationen heraus unumgänglich, begleitende Kunstbauten wie die Abdeckung der Troglage zur Minimierung negativer Auswirkungen zu setzen. Bezogen auf das untersuchte Bestandsnetz kann festgehalten werden, dass es bei allen Landesstraßenabschnitten im Untersuchungsgebiet (B 67a und B 73) nach der derzeit gültigen Richtlinie bezüglich Lärmschutz an Landesstraßen, Grenzwertüberschreitungen im IST- und Prognose-Zeitraum gibt. Die Umlegung des Durchzugsverkehrs auf den Südgürtel-Planfall bewirkt eine positive Veränderung der Lärmbelastung entlang der Puntigamer Straße und der Liebenauer Hauptstraße.

Im Umfeld der Portale der SÜDGÜRTEL – Neutrassierung werden sich keine Grenzwertüberschreitungen ergeben, da die Wohnbereiche durch straßenseitige Maßnahmen geschützt werden. Beim Gemeindestraßennetz im trassenbezogenen Untersuchungsraum wird es durch eine Reduzierung der Schleichwegefahrten entlang der

Verkehrsträger bei den Wohnverbauungen ein zum Teil deutliche Verbesserung der Immissionsbelastung infolge Verkehrslärm geben. Somit kann man im Sinne der UVP von einem VERTRÄGLICHEN Eingriff durch die Neubaumaßnahme „SÜDGÜRTEL“ in die trassenbezogene Umwelt bezogen auf den Zustand ohne Baupause ausgehen.

Im Zuge des Verfahrens wurde von h.a. Sicht der Einwand erhoben, dass die Messungen dem aktuellen Stand anzupassen sind und die geänderten Normen und Richtlinien (hier insbesondere die RVS) zu berücksichtigen sind. Dem wurde durch eine Ergänzung zum Fachbeitrag Rechnung getragen und ist der Befund dahingehend zu ergänzen:

Darstellung der tatsächlichen örtlichen Verhältnisse

Zur Darstellung der tatsächlichen örtlichen Verhältnisse im Projektgebiet wurden zwei 24h-Messungen mit begleitenden Halbstundenmessungen durchgeführt.

Messpunkt	Messzeit	Datum / Uhrzeit	Adresse
MP 40	24 h	07.11.2007 17:00– 08.11.2007 17:00	Liebenauer Hauptstraße 210
MP 2	24 h	12.11.2007 16:00– 13.11.2007 16:00	Speidlgasse 3
MP 24	1 h	07.11.2007 16:00 – 17:00	Konrad-Hopferwieser-Gasse 15
MP 43	1 h	12.11.2007 16:00 – 17:00	Huteggerstraße 15g

Anpassung an die RVS 04.02.11

Aufgrund der besonderen Situation im Stadtgebiet von Graz durch temporäre und sektoräre LKW-Fahrverbote (Nachtfahrverbote, Fahrverbote für nicht lärmarme LKW) wurden bereits im Einreichprojekt die LKW-Anteile abweichend von den Vorgaben der RVS 3.02 anhand von IST-Verkehrserhebungen definiert. Diese Vorgehensweise wird auch in einer Gegenüberstellung der Emissionen zur RVS 04.02.11 im spezifischen Fall beibehalten.

Die Änderung der Tageszeiträume von der RVS 3.02 zur RVS 04.02.11 ergibt für die Emissionspegel der Hauptanlage der B67a im Abschnitt Südgürtel unter Berücksichtigung der Bemessungsfaktoren kL damit folgende Änderungen:

	RVS 3.02	RVS 04.02.11
Tagzeitraum	8 lauteste Stunden Leq (T)	Ld (06-19) = Leq (T) - 0,2 dB
Abendzeitraum	fehlt	Le (19-22) = Leq (T) - 2,0 dB
Nachtzeitraum	8 Nachtstunden Leq (N)	Ln (22-06) = Leq (N) + 0,3 dB

Die Differenz liegt im Tag- und Nachtzeitraum innerhalb der Rechengenauigkeit, der Abendzeitraum lässt sich direkt vom Tagzeitraum ableiten.

Darüber hinaus war in den vorliegenden Einreichunterlagen die Bauphase nicht hinreichend berücksichtigt. Der Fachbeitrag wurde ergänzt und ist die Bauphase daher wie folgt zu beurteilen:

Beurteilung der Bauphase

Grundlage der Lärmuntersuchung Bauphase bildet in erster Linie der Bericht Bauphase des Straßenprojektes.

Die Baubereiche werden mit Flächenschallquellen mit einem Emissionspegel (Schalleistungspegel $L_{w,A}$) von 116 dB berücksichtigt. Dazu werden alle für Massentransporte und Versorgung erforderlichen LKW-Fahrten auf die Baustraßen und auf das Bestandsstraßennetz gelegt.

Verwendete Unterlagen

- Einreichprojekt 2005, B67a Grazer Ringstraße, Abschnitt Südgürtel mit Ergänzungen und Korrekturen bis Dezember 2007 inklusive Baukonzept
- ÖAL-Richtlinie Nr. 28 "Schallabstrahlung und Schallausbreitung"; Dezember 1987
- ÖAL-Richtlinie Nr. 111 "Lärmarmen Baubetrieb"; April 1985
- Richtlinie 2000/14/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Umweltbelastung von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen
- Richtlinie 2002/49/EG Europäischen Parlamentes und des Rates über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm und die darauf aufbauenden bundesgesetzlichen Bestimmungen
- ÖNORM S 5003, Teil 2, „Grundlagen der Schallmessung“; Stand 1.1.1974
- ÖNORM S 5004, „Messung von Schallimmissionen“; Stand 1.3.1998
- ÖNORM S 5021, Teil 1, "Schalltechnische Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung und Raumordnung"; Stand 1.3.1998
- UVP-G 2000 (Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz) idgF.
- RVS 3.02. „Lärmschutz“; Dezember 1997, zu Vergleichszwecken
- RVS 04.02.11 „Lärmschutz“; März 2006
- Verfahren zur Berechnung der Lärmabstrahlung von Strassentunnel-Portalen, entwickelt von der Forschungsstelle „EMPA, Abteilung Akustik und Lärmbekämpfung“, Dübendorf, Schweiz, im Auftrag des Eidgenössischen Departements des Inneren, Bundesamt für Straßenbau, Dezember 1983
- Die Berechnungen erfolgten mit dem EDV-Programm SoundPLAN 6.4, entwickelt von Braunstein & Berndt, Deutschland.

Baukonzept B67a Abschnitt Südgürtel

Wesentliche Grundlage bildet das Baukonzept. Aus diesem Konzept werden der Grobzeitplan und die geplante Bauabwicklung übernommen, ebenso die voraussichtlichen Maschineneinsatzpläne und möglichen Baustellenarbeitszeiten.

Bauzeitplan

Der Grobzeitplan gibt einen parallelen Ablauf einzelner Baustellenabschnitte zur Optimierung der Gesamtbauzeit vor.

Baustellenarbeitszeiten

Die generelle tägliche Arbeitszeit wird von 06:00 bis 22:00 Uhr festgelegt. Aus bautechnischen Gründen müssen die Betonierarbeiten für die Einhausungen der Unterflurtrasse für einen 12m-Anschnitt jeweils in einem Arbeitsgang erledigt werden. Nur in diesem Zusammenhang kann es möglicherweise zur Überschreitung der Tagesarbeitszeit kommen.

Bauszenarien

Wie viele und welche Baugeräte letztlich zum Einsatz kommen, liegt im Ermessen des Auftraggebers und den ausführenden Firmen bzw. ergibt sich unter anderen Randbedingungen.

Die Ergebnisse der nachstehend durchgeführten Berechnungen können daher nur plausible Anhaltswerte liefern und als Basis für grundsätzliche Aussagen über die Beherrschbarkeit der schalltechnischen Probleme herangezogen werden.

Die folgenden Teilszenarien sind im offenen Bereich bauabschnittsunabhängig zu betrachten. Es wird für jedes Bauszenario ein für Baustellen in dieser Größenordnung üblicher Maschineneinsatz angesetzt.

Generell sind die Baustellenszenarien als eine Gruppe von langsam wandernden Punktschallquellen zu betrachten, welche sich innerhalb des definierten Baustellenbereiches bewegt.

Schalleistungspegel zu den Bauszenarien

Den nachstehenden Berechnungen wurden Angaben der bautechnischen Planung und Annahmen (schalltechnische Spezifikationen) über Baugeräte und deren Emissionen bzw. Einsatzzeiten zugrunde gelegt, die auf Basis des derzeitigen Planungsstandes abgeleitet wurden.

Zur Festlegung der relevanten Emissionsdaten bei den ausgewählten Bauszenarien wurden einerseits die Richtwerte für lärmarmen Baubetrieb gemäß ÖAL-Richtlinie Nr. 111 und andererseits tatsächliche Messwerte, erhoben bei Baubetrieb, zu Grunde gelegt. Es werden jeweils minimale und maximale Schalleistungspegel angesetzt, um die Streubreite der Werte darzustellen. Die Berechnungen erfolgen entsprechend einem worst-case-Szenario mit den maximalen Schalleistungspegeln.

Offener Abtrag

Im Trassenbaubereich erfolgen der Humus- und Oberbodenabtrag mit seitlicher Lagerung und anschließend der Abtrag des Untergrundes bis zur erforderlichen Tiefe vor allem in Einschnittbereichen. Hier wirkt bei zunehmender tiefe die seitliche Böschung bereits abschirmend.

	Ausgangs- schall- leistung Lw,A,min (dB)	Ausgangs- schall- leistung Lw,A,max (dB)	Einsatzdauer (bezogen auf Tagzeitraum) in %	Anzahl bzw. FB/h	Gesamt- schall- leistung Lw,A,min	Gesamt- schall- leistung Lw,A,max	energ. Summe der Gesamtschalleistung je Arbeitsvorgang Lw,A,min Lw,A,max
Humusabtrag							103 108
Hydraulikbagger	100	108	60%	1	98	106	
Schubraupe	103	108	40%	1	99	104	
Lkw-Rangieren	80	80	10%	6	78	78	
Rückfahwärmer	101	101	5%	6	96	96	
Abtrag							104 113
Hydraulikbagger	100	108	60%	2	101	109	
Radlader	103	113	50%	1	100	110	
Lkw-Rangieren	80	80	10%	6	78	78	
Rückfahwärmer	101	101	5%	6	96	96	

Dammschüttungen

Nach Humus- und Oberbodenabtrag mit seitlicher Lagerung erfolgen anschließend die Dammschüttungen, welche bis zum jeweiligen Unterbauplanum lagenweise aufgebracht und mit Walzen verdichtet werden. In derselben Art und Weise werden die Geländemodellierungen vorgenommen.

	Ausgangs- schall- leistung Lw,A,min (dB)	Ausgangs- schall- leistung Lw,A,max (dB)	Einsatzdauer (bezogen auf Tagzeitraum) in %	Anzahl bzw. FB/h	Gesamt- schall- leistung Lw,A,min	Gesamt- schall- leistung Lw,A,max	energ. Summe der Gesamtschalleistung je Arbeitsvorgang Lw,A,min Lw,A,max
Hinterfüllen und Dammschüttung							109 113
Hydraulikbagger	100	108	60%	1	98	106	
Schubraupe	103	108	40%	1	99	104	
Grader	110	110	20%	1	103	103	
Kombinationswalze	114	114	20%	1	107	107	
Lkw-Rangieren	80	80	10%	6	78	78	
Rückfahwärmer	101	101	5%	6	96	96	
LKW-Abkippen	95	112	5%	6	90	107	

Kunstbauten

Hauptzeitaufwand für die Kunstbauten (Unterflurtrasse in offener Bauweise) liegt vorwiegend im Schalungs- und Bewehrungsbau, bei dem aufgrund der vorwiegend manuellen Tätigkeit nur mit vergleichsweise geringen Lärmemissionen zu rechnen sein wird. Maßgeblich bezüglich der Lärmentwicklung werden die Betonierarbeiten sein.

	Ausgangs- schall- leistung Lw,A,min (dB)	Ausgangs- schall- leistung Lw,A,max (dB)	Einsatzdauer (bezogen auf Tagzeitraum) in %	Anzahl bzw. FB/h	Gesamt- schall- leistung Lw,A,min	Gesamt- schall- leistung Lw,A,max	energ. Summe der Gesamtschalleistung je Arbeitsvorgang Lw,A,min Lw,A,max
Kunstbauten							113 113
Betonpumpe	109	109	80%	2	111	111	
Transportbetomischer	108	108	60%	2	109	109	
Tauchrüttler	100	100	50%	2	100	100	
Lkw-Rangieren	80	80	10%	6	78	78	
Rückfahwärmer	101	101	5%	6	96	96	

Unterbau

Die Errichtung des Unterbaues erfolgt in ähnlicher Weise wie die allgemeinen Dammschüttungen, wobei hier ein wesentliches Augenmerk auf das einzubauende Material gelegt wird. Die oberste Schicht wird idealerweise mit einem Fertiger ähnlich einer Schwarzdecke aufgebracht.

	Ausgangs- schall- leistung Lw,A,min (dB)	Ausgangs- schall- leistung Lw,A,max (dB)	Einsatzdauer (bezogen auf Tagzeitraum) in %	Anzahl bzw. FB/h	Gesamt- schall- leistung Lw,A,min	Gesamt- schall- leistung Lw,A,max	energ. Summe der Gesamtschalleistung je Arbeitsvorgang Lw,A,min Lw,A,max
Unterbau							112 113
Schubraupe	103	108	30%	1	98	103	
Grader	108	110	20%	1	101	103	
Kombinationswalze	114	114	50%	1	111	111	
Fertiger 160 kW	105	105	20%	1	98	98	
Lkw-Rangieren	80	80	10%	6	78	78	
Rückfahwärmer	101	101	5%	6	96	96	
LKW-Abkippen	95	108	10%	6	93	106	

Oberbau

	Ausgangs-	Ausgangs-	Einsatzdauer	Anzahl	Gesamt-	Gesamt-	energ. Summe der
	schall-	schall-	(bezogen auf	bzw.	schall-	schall-	Gesamtschalleistung
	leistung	leistung	Tagzeitraum)	FB/h	leistung	leistung	je Arbeitsvorgang
	Lw,A,min	Lw,A,max	In %		Lw,A,min	Lw,A,max	Lw,A,min Lw,A,max
	(dB)	(dB)					
Oberbau Asphaltbeton							104 112
Walzenzug	92	112	60%	1	90	110	
Fertiger 160 kW	105	105	60%	1	103	103	
Lkw-Rangieren	80	80	10%	6	78	78	
Rückfahwäner	101	101	5%	6	96	96	
LKW-Abkippen	95	108	10%	6	93	106	

Rekultivierung

Nach Abschluss der oben beschriebenen Tätigkeiten erfolgt die Wiederherstellung bzw. die Gestaltung der neu geschaffenen Oberflächen. Die Geländeform gebenden Arbeiten werden damit zum Abschluss gebracht, überschüssiges Material wird, wenn das nicht bereits vorher erfolgte, in diesem Arbeitsschritt entfernt.

	Ausgangs-	Ausgangs-	Einsatzdauer	Anzahl	Gesamt-	Gesamt-	energ. Summe der
	schall-	schall-	(bezogen auf	bzw.	schall-	schall-	Gesamtschalleistung
	leistung	leistung	Tagzeitraum)	FB/h	leistung	leistung	je Arbeitsvorgang
	Lw,A,min	Lw,A,max	In %		Lw,A,min	Lw,A,max	Lw,A,min Lw,A,max
	(dB)	(dB)					
Humusauftrag							103 112
Hydraulikbagger	100	108	60%	1	98	106	
Schubraupe	103	108	40%	1	99	104	
Lkw-Rangieren	80	80	10%	6	78	78	
Rückfahwäner	101	101	5%	6	96	96	
LKW-Abkippen	95	112	10%	6	93	110	

Aufbereitungsanlage

Aller Voraussicht nach wird ein Teil des im Tunnelausbruch oder offenen Felsabtrag gewonnenen Materials nach vorhergehender Eignungsprüfung aufbereitet und als Zuschlagstoff für die Betonherstellung, für den Unterbau oder Drainagekörper wieder verwendet. Zu diesem Zweck kann eine (möglicherweise mobile) Backenbrecheranlage und eine anschließend angeordnete Siebanlage mit Förderbändern zur Korntrennung und Zwischenlagerung in Korngrößenfraktionen Verwendung finden. Die Aufgabe erfolgt üblicherweise mit Hydraulikbaggern oder Radladern.

	Ausgangs-	Ausgangs-	Einsatzdauer	Anzahl	Gesamt-	Gesamt-	energ. Summe der
	schall-	schall-	(bezogen auf	bzw.	schall-	schall-	Gesamtschalleistung
	leistung	leistung	Tagzeitraum)	FB/h	leistung	leistung	je Arbeitsvorgang
	Lw,A,min	Lw,A,max	In %		Lw,A,min	Lw,A,max	Lw,A,min Lw,A,max
	(dB)	(dB)					
Aufbereitungsanlage							118 120
Backenbrecher	116	122	30%	1	113	117	
Siebanlage	118	118	60%	1	118	118	
Hydraulikbagger	100	108	50%	2	100	108	
Radlader	100	108	50%	2	100	108	
Lagerflächen							100 110
Radlader	103	113	25%	1	97	107	
Lkw-Rangieren	80	80	10%	6	78	78	
Rückfahwäner	101	101	5%	6	96	96	
LKW-Abkippen	95	112	5%	6	90	107	

Grundwasserhaltung

Im gesamten Baubereich, welcher sich teilweise unter der Grundwasserlinie befindet, wird eine Grundwasserabsenkung mittels Absenkbrunnen durchgeführt. Zu diesem Zweck werden Brunnenrohre mit einem Durchmesser von 150 bis 300mm in den Boden abgesenkt, in welchen elektrische Tauchpumpen zum Einsatz gelangen, die ständig in Betrieb bleiben. Durch die Wahl dieser Methode sind keine Schallemissionen zu erwarten, welche geeignet wären, den festgestellten Grundgeräuschpegel (siehe Messprotokolle) anzuheben. Benzinbetriebene Wasserpumpen werden nur ausnahmsweise zum Entleeren eventuell durch Niederschlagsereignisse voll gelaufener Grubenbereiche

eingesetzt. Dazu kommen schallgedämmte Aggregate zum Einsatz, deren abgeschirmte Schalleistungsspiegel deutlich unter denen des Baustellenbetriebes liegen (kleiner als 75 dB).

Sonstige Maschinen

Sonstige Maschinen und Arbeitsgeräte werden nach technischem Erfordernis fallweise eingesetzt, in Bezug auf die Gesamtbaulärsituation sind sie daher von untergeordneter Bedeutung. Angeführt seien hier die Rammen, welche gegebenenfalls zur Baugrubensicherung oder Grundwasserfreihaltung mittels Spundwänden oder zur Niederbringung von Rammpfählen in nicht tragfähigem Untergrund eingesetzt werden. Die Einsatzdauer wird im Bedarfsfall jeweils nur wenige Stunden in Anspruch nehmen.

	Ausgangsschallleistung Lw,A,min (dB)	Ausgangsschallleistung Lw,A,max (dB)	Einsatzdauer (bezogen auf Taqzeitraum) in %	Anzahl bzw. FB/m	Gesamt- schall- leistung Lw,A,min	Gesamt- schall- leistung Lw,A,max	energ. Summe der Gesamtschallleistung je Arbeitsvorgang Lw,A,min Lw,A,max
Sonstige Geräte (fallweise im Einsatz)							
Vibrationsramme	117	117	30%	1	112	112	
Spundwandramme	127	138	10%	1	117	128	

Transporte und Versorgungsfahrten

Das Material wird mittels Großraummulden und/oder LKW von den Entnahmestellen direkt an die Einbaustellen, erforderlichenfalls zu Zwischenlagerplätzen oder zur Deponie, transportiert. Für Transporte über öffentliche Straßen werden straßenzugelassene LKW verwendet. Die Massentransporte vor allem der Tunnelbaustellen werden mit maximal 24 LKWFahrten / Stunde bewältigt. Um eine Vergleichsmöglichkeit zu schaffen, wird dieser LKW-Verkehr auf alle Trassenabschnitte ebenso wie auf die Zufahrtsstraßen und alle anderen möglicherweise in der Bauphase beanspruchten Straßenabschnitte des höherrangigen Straßennetzes gelegt. Dazu werden die Versorgungsfahrten Tunnelbaustellen addiert, welche vor allem in den Abend- und Nachtzeiträumen immissionsrelevant sein können. Auf die relevanten Zeiträume gesplittet werden folgende LKW-Anzahlen festgelegt. Es wird grundsätzlich von schweren, nicht lärmarmen LKW ausgegangen.

	Tag (d)	Abend (e)	Nacht (n)
schwere LKW/Stunde	24	24	12
			(fallweise ausschließlich Betonmischer)
Emissionspegel	76 dB	76 dB	73 dB
	(50km/h, Granitsteinpflaster, + Steigungszuschlag)		

Worst-Case-Szenario

In einem beliebigen immissionsseitig relevanten Teilabschnitt werden maximal zwei der oben definierten Szenarien in bauausführungstechnisch sinnvoller Abfolge zeitgleich anzutreffen sein. Dazu kommen im Tagzeitraum alle erforderlichen Massentransporte. Im schlechtesten Fall ist daher für einen beliebigen Immissionsort mit dem doppelten Maschineneinsatz des lautesten Szenarios und dessen Überlagerung mit dem Massentransport durch LKW zu rechnen.

Emissionspegel	Baufeld	Aufbereitung	Spundwand
Flächenschallquelle (Schalleistungspegel Lw,A)	117 dB	120 dB	128 dB
Pegelspitzen (ungünstigster Wert, Lw,A,max)	120 dB	128 dB	138 dB

Immissionsberechnungen

Die Berechnungen der Lärmkarten „Bauphase“ erfolgen 10m-Raster in 1,5m über Gelände (Beurteilung des Freiraums) analog den Berechnungen für die Betriebsphase. Auch die Berechnungen der Lärmimmissionen Bauphase erfolgte für über 3000 Fensterfronten im Untersuchungsbereich. Im Anschluss an diesen Technischen Bericht erfolgt eine Zusammenfassung der Berechnungen in den maßgeblichen Immissionspunkten.

Schallpegelspitzen

Zusätzlich werden die aus der Bauphase zu erwartenden Pegelspitzen berechnet. Es wird zugrunde gelegt, dass Worst-Case-Pegelspitzen von 120 dB am Rand des zum jeweils betrachteten Immissionsort nächstgelegenen Baubereiches auftreten können. In größerem Abstand zum jeweiligen Objekt können demnach auch höhere Pegelspitzen zu denselben Immissionswerten führen.

Es wird ein Spitzenpegel berechnet, der von einer oder mehreren Gewerbequellen am Immissionsort produziert wird. Der Maximalpegel wird berechnet, indem im Feld Lw'_max der entsprechende Wert eingegeben wird. Das Emissionsspektrum ist identisch mit dem für die Leq-Berechnung. Bei den definierten Flächenquellen handelt es sich um einen räumlichen Maximalpegel. D.h. es wird der Fall betrachtet, dass sich eine Punktquelle innerhalb einer Fläche bewegt, und diese zu irgendeinem Zeitpunkt eine bezüglich der Ausbreitungsbedingungen zu einem gegebenen Immissionsort günstigste Position einnimmt. Um diesen Fall zu berücksichtigen wird die gesamte Schalleistung in einem Punkt gesetzt. Das Berechnungsprogramm SoundPLAN bestimmt automatisch die ungünstigste Position und den dazugehörigen Maximalpegel. Als Ergebnis dieses Algorithmus ergibt sich für jeden betrachteten Immissionspunkt, sei es in der Lärmkarte oder an der Gebäudefassade der Wohnobjekte, der jeweils ungünstigste (= lauteste) erreichbare Maximalpegel.

Bei einfachen Geometrien und gleichmäßigen Ausbreitungsbedingungen befindet sich die Lage der Quelle, welche die Pegelspitze erzeugt, an dem zum betrachteten Immissionspunkt geometrisch ermittelt nächstgelegenen Punkt des Randes der definierten Flächenschallquelle. Bei komplexeren Geometrien mit Abschirm- und Reflexionsflächen zwischen der Flächenschallquelle und dem Immissionspunkt kann die relevante Lage davon abweichend auch innerhalb der Flächenschallquelle liegen.

Berechnungsergebnisse

Aufgrund der Berechnungen ergibt sich, dass insgesamt sechs Objekte während der Bautätigkeiten zeitweise mit Immissionen aus dem Baubetrieb von über 70 dB belastet werden. Zwölf Objekte (siehe Tabelle) werden mit Werten über 65 dB belastet. Es ist bei der Beurteilung zu berücksichtigen, dass diese Werte nur über

kurze Zeiträume (abhängig vom Bauverlauf und der genauen Lage des Objektes zum jeweiligen Baufeld, kurzzeitig, tage- bis wochenweise) auftreten.

Objektadresse	2010 S21		2011 S22		2011 S23a		2011 S23b	
	Ld	LmG	Ld	LmG	Ld	LmG	Ld	LmG
Casalgasse 49	41	50	52	53	56	67	47	59
Casalgasse 54	41	51	50	60	60	73	46	57
Casalgasse 56	41	52	48	60	65	77	54	66
Casalgasse 58a	42	54	47	56	57	67	51	63
Casalgasse 64	42	50	48	57	69	85	61	76
Casalgasse 67	37	64	46	56	57	73	74	98
Casalgasse 68	43	61	46	54	61	80	74	97
Casalgasse 69	58	74	49	60	64	65	71	90
Casalgasse 75	61	80	53	63	49	57	61	76
Casalgasse 79	45	72	53	63	49	58	56	72
Engelsdorfer Straße 3	41	51	58	74	76	100	51	62
Engelsdorfer Straße 10	48	57	67	88	72	95	53	64
Engelsdorfer Straße 12	44	51	64	80	57	73	48	59
Engelsdorfer Straße 14	43	54	63	74	51	64	45	56
Engelsdorfer Straße 16	44	60	70	87	64	67	48	57
Engelsdorfer Straße 18	48	65	75	103	48	60	46	55
Engelsdorfer Straße 33	68	94	62	79	42	53	38	47
Engelsdorfer Straße 37	60	86	53	66	42	52	39	46
Engelsdorfer Straße 39	63	84	49	59	42	56	37	45
Engelsdorfer Straße 41	57	80	45	57	42	56	37	46
Engelsdorfer Straße 47	69	92	61	81	61	81	47	63
Georg Gaß Weg 7	54	64	58	69	50	58	46	56
Hufegger Straße 4	40	59	44	53	54	65	59	70
Hufegger Straße 5	45	59	48	57	59	73	64	77
Hufegger Straße 15d	42	54	50	60	59	67	52	62
Hufegger Straße 15f	46	56	53	63	55	64	48	59
Johann Koller Weg 34	35	49	51	63	67	86	50	63
Konrad Hopfenwieser Gasse 11-15	46	75	64	78	48	57	45	54
Krummer Weg 1	48	66	45	55	51	64	65	78
Liebenauer Hauptstraße 183	45	57	49	63	49	63	50	72
Liebenauer Hauptstraße 189	57	74	52	72	52	72	67	99
Liebenauer Hauptstraße 194	45	64	50	68	50	68	60	90
Liebenauer Hauptstraße 196	48	64	52	69	52	69	62	86
Liebenauer Hauptstraße 198	50	73	57	77	57	77	65	81
Liebenauer Hauptstraße 201	56	78	53	71	53	71	63	84
Liebenauer Hauptstraße 202a	48	61	59	77	59	77	46	69
Liebenauer Hauptstraße 203	50	69	50	71	50	71	64	89
Liebenauer Hauptstraße 208	44	73	54	76	54	76	61	85
Liebenauer Hauptstraße 210	55	70	47	75	47	75	60	85
Liebenauer Hauptstraße 210a	55	72	53	73	53	73	56	71
Liebenauer Hauptstraße 213	44	60	41	60	40	60	46	68
Liebenauer Hauptstraße 220	48	57	42	58	42	58	54	79
Liebenauer Hauptstraße 220a	46	58	43	58	42	58	46	67
Murfelder Straße 7	56	85	68	82	57	71	45	57
Puntigamer Straße 54	35	54	49	63	56	70	43	55
Puntigamer Straße 70	45	68	60	79	67	79	44	56
Puntigamer Straße 70a	49	62	55	70	58	72	43	55
Puntigamer Straße 90	55	69	68	86	52	66	41	52
Rainweg 42	51	65	58	68	48	56	47	55
Speldigasse 1	59	76	66	84	60	77	47	61
Speldigasse 3	52	67	58	71	54	67	37	51
Stanglmühlsstraße 9	53	69	56	68	56	68	49	67
Stanglmühlsstraße 21	67	90	49	64	48	64	40	49
Stanglmühlsstraße 23	51	76	49	62	49	62	36	53
Stanglmühlsstraße 25	50	71	46	58	45	58	35	49
Stanglmühlsstraße 27	55	68	48	59	47	59	36	47
Stanzgasse 3	46	67	44	58	43	58	34	45
Stanzgasse 57	52	63	56	71	56	71	40	57
Stanzgasse 57a	52	62	61	80	61	80	40	58
Suttnernweg 18	40	55	58	71	45	53	41	49
Suttnernweg 19	39	60	59	71	46	55	42	50
Suttnernweg 21	39	60	66	80	50	60	45	54

Maßnahmen in der Bauphase

Die Grenzwerte laut Oberösterreichischer Bautechnik Verordnung sind grundsätzlich immer einzuhalten. Sollte das in exponierten Punkten über bestimmte Zeiträume nicht möglich sein, kann laut OÖ Bautechnik VO um Ausnahmegenehmigungen angesucht werden.

Schon in der Bauausschreibung soll auf den unbedingt erforderlichen Einsatz von „lärmarmen“ Geräten und Maschinen laut EU-Richtlinie 2000/14/EG verpflichtend verwiesen werden. Es sind ausnahmslos Maschinen und Geräte einzusetzen, welche hinsichtlich ihrer Lärmemissionen dem Stand der Technik entsprechen. Damit kann erreicht werden, dass die Emissionen und in der Folge die Immissionen unter den rechnerisch ermittelten Werten bleiben. Allein in dieser Maßnahme liegt ein Potential von 5 bis 10 dB Lärminderung.

Grundsätzlich wird vorgeschlagen, in den siedlungsnahen Baustellenbereichen den Humus- und Oberbodenabtrag in der Weise durchzuführen, dass dieses Material gleichsam als Schallschutzdamm zwischen den Wohnhäusern und den Baustellenbereichen zwischengelagert wird.

Dies wird insbesondere in den Bereichen der teilweise direkt an die Siedlungen heranreichenden Geländemodellierungen erforderlich sein.

Für Objekte, welche für die Betriebsphase mit Lärmschutzfenstern und/oder Lüftern ausgestattet werden, soll diese Maßnahme nach Möglichkeit bereits vor Baubeginn im jeweiligen objektbezogenen Bauabschnitt umgesetzt werden.

Vorhersehbare laute Ereignisse, wie das Rammen von Spundwänden sind den Anrainern anzukündigen. Diese Ankündigungen müssen auch Maßnahmenempfehlungen für den Einzelnen zum Schutz vor kurzzeitigem, übermäßigem Lärm beinhalten. Diesbezüglich kann auch die AUVA eingebunden werden.

Im Zuge der Bauphase sind im Rahmen der Bauaufsicht in Abständen Kontrollmessungen vorgesehen, um die Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte zu überprüfen. Bei Überschreitungen sind gegebenenfalls wirksame Maßnahmen wie oben beschrieben zu setzen.

ArbeitnehmerInnenschutz

Auf die Einhaltung der Arbeitnehmerschutzbestimmungen, insbesondere die Einhaltung der in der Verordnung Lärm und Vibrationen (VOLV) ist in den Ausschreibungsbedingungen aller Bautätigkeiten verpflichtend hinzuweisen. Diesbezüglich sind die mit der Baudurchführung beauftragten Firmen zu verpflichten, die entsprechenden Nachweise (z.B. in Form von Datenblättern der eingesetzten Maschinen und Geräte – siehe Anhang C) vor Beginn der jeweiligen Tätigkeiten unaufgefordert der Bauaufsicht zu übermitteln.

Die Expositionswerte nach VOLV §3 sind auf jeden Fall einzuhalten, bei Überschreiten der Auslösewerte nach VOLV §4 sind, wenn durch technische Maßnahmen eine Reduktion der Werte nicht möglich ist, persönliche Schutzausrüstungen nach den Vorgaben von VOLV §8(1) und §14(1) zur Verfügung zu stellen und deren Verwendung zu überwachen.

Berechnungsgrundlagen

Im Anhang E des Fachbeitrages wird das dreidimensional erstellte Geländemodell dargestellt, auf dessen Basis die lärmtechnischen Berechnungen erfolgten.

Als Grundlage wurden die im Zuge der Projekterstellung getätigten Luftbildauswertungen und Vermessungen sowie der Kataster und das Höhenmodell des BEV verwendet, durch Zusatzinformationen ergänzt und in eine für die lärmtechnische Bearbeitung erforderliche Form gebracht. Wesentliche Grundlage für die Höhenentwicklung bildet der Höhenraster, welcher in flachen Bereichen ausgedünnt und im Bereich von Geländekanten verdichtet eingearbeitet wurde. Aus diesem Modell wurde mit Dreiecksvermaschung ein digitales Geländehöhenmodell erstellt, welches als Grundlage der weiteren Berechnungen dient.

Die projektspezifischen Geländeinformationen des Straßenprojektes in dreidimensionaler Form lage- und höhenrichtig in das Geländemodell eingearbeitet.

Dämpfungsflächen und Bodenreflexionsflächen wurden aus den vorhandenen Unterlagen übernommen und mit den entsprechenden Parametern versehen.

Rechenlaufparameter

Winkelschrittweite:	2,00 deg	
Reflextiefe:	0	
Reflexzahl:	1	
Maximaler Suchradius	2500	
Filter:	dB(A)	
Richtlinien:		
Straßen:	RVS 3.02 (Baulärm RVS 04.02.11)	
Gewerbe:	ÖAL 29	
Luftabsorption:	ISO 3891	
Methode zur Definition der Reflexebene:	GPM 1982	
Begrenzung des Beugungsverlusts:	einfach/mehrfach	20 dB /20 dB
Umgebung:	Luftdruck	1013,25 mbar
	relative Feuchte	70 %
	Temperatur	15 °C
Zerlegungsparameter:	Faktor Abst./Durchmesser	2
	Minimale Distanz [m]	1 m
Bewertung:	ÖAL 3 (A)	
Rasterkarte:		
Rasterabstand:	10,00 m	
Höhe über Gelände:	1,5 m	
Rasterinterpolation:	Feldgröße =	9x9
	Min/Max =	10,0 dB
	Differenz =	0,2 dB

Die Isophonendarstellung der Lärmkarten erfolgt durch eine Interpolation der Rasterwerte. Die flächig dargestellte Lärmkarte beschreibt jeweils farbig abgestufte Bereiche in 5dB-Abstufungen. Einzelpunktergebnisse an Wohngebäudefronten können aus dieser Karte nicht direkt abgelesen werden, da einerseits die Höhe über Gelände differiert, andererseits die gebäudebezogenen Punktberechnungen ohne Reflexionen der Bezugswandflächen berechnet werden (Schallpegel im Fenster).

Aus gutachterlicher Sicht werden basierend auf dem obigen Befund nachfolgende Auflagen vorgeschlagen:

Bauphase:

- Im Zuge der Bauphase sind kontinuierlich Messungen bei den nächstgelegenen Nachbarschaftsobjekten vorzunehmen. Die Messergebnisse sind der Behörde und den betroffenen Nachbarn unaufgefordert und unverzüglich zur Verfügung zu stellen (bspw. Durch Verfügbarkeit im Internet). Bei Überschreitungen der angestrebten Richtwerte sind unverzüglich Maßnahmen zur Hintanhaltung einzuleiten (Verwendung leiserer Maschinen, Reduzierung der Einsatzzeiten etc.). Die umgesetzten Maßnahmen sind zu dokumentieren und regelmäßig der Behörde vorzulegen.

Betriebsphase:

- Im Untersuchungsbereich „Südgürtel“ sind an der Puntigamer Straße bzw. Liebenauer Hauptstraße mehrere Objekte ausgewiesen, welche sowohl in der Bauphase in zumindest einem Szenarium mit Belastungen aus dem Baubetrieb von über 55 dB (Einlage 18.10 Ergänzungsbericht Lärm, Tabelle Seite 12), als auch in der nachfolgenden Betriebsphase mit Belastungen über 50 dB nachts (Einlage 18.4 Schalltechnische Berechnungen, Tabellen „Prognose 2015 Südgürtel“ Spalte LrN > 50 dB und Spalte LrN,diff Wert dargestellt bzw. Einlage 18.5 Immissionsplan Prognose 2015 Planfall) ausgewiesen sind.

Sofern in den nachfolgend angeführten Objekten daher ständige Wohnnutzung gegeben ist, sind den betroffenen Bewohnern (Eigentümern bzw. Mietern) so rechtzeitig objektseitige Lärmschutzmaßnahmen anzubieten, dass diese vor Baubeginn des Südgürtels umgesetzt werden können.

Adresse	Anmerkung
Liebenauer Hauptstraße 187	Einlage 18.5
Liebenauer Hauptstraße 189	Einlage 18.4
Liebenauer Hauptstraße 194	Einlage 18.5
Liebenauer Hauptstraße 196	Einlage 18.5
Liebenauer Hauptstraße 198	Einlage 18.4
Liebenauer Hauptstraße 201	Einlage 18.4
Liebenauer Hauptstraße 203	Einlage 18.5
Liebenauer Hauptstraße 207	Einlage 18.5
Liebenauer Hauptstraße 208	Einlage 18.4
Liebenauer Hauptstraße 210	Einlage 18.5
Murfeld Straße 7	Einlage 18.4
Puntigamer Straße 70	Einlage 18.4
Puntigamer Straße 90	Einlage 18.5
Speidlgasse 1	Einlage 18.4

Hinweis: Sollten einzelne dieser Objekte bereits mit ausreichenden objektseitigen Maßnahmen ausgestattet sein, ist eine Erneuerung nicht zwingend erforderlich.

- Über einen Zeitraum von einem Jahr nach Eröffnung sind Kontrollmessungen durchzuführen und die Übereinstimmung der tatsächlichen Immissionen mit den Prognosewerten nachzuweisen. Bei Überschreitung der Prognosewerte sind zusätzliche Schallschutzmaßnahmen, wie Geschwindigkeitsbeschränkungen, Lärmschutzwände etc. vorzusehen.

Gutachten Erschütterung

Die dem Fachbeitrag zugrunde liegende Befunderstattung ist als fachlich richtig zu qualifizieren und die gewählte Beurteilungsmethodik entspricht dem Stand der Technik. Daher wird der Fachbeitrag Erschütterung wie folgt in den gegenständlichen Befund übernommen:

Das Amt der Steiermärkischen Landesregierung plant den Bau der Landesstrasse B67a im Abschnitt Südgürtel Graz von der Puntigamer Brücke bis zum Liebenauer Gürtel.

Es ist zu prüfen, inwieweit die Anrainer durch Erschütterungsimmissionen der Bauarbeiten betroffen sein werden und welche Auswirkungen dieses Projekt auf die Erschütterungsimmissionen des zukünftigen Verkehrs haben wird.

Soweit die Trassenführung im Tunnel erfolgt, sind neben den seismischen Erschütterungsimmissionen auch der durch die Bodenerschütterungen hervorgerufene Körperabstrahlungsschall oder sekundäre Luftschall, der in der Geotechnik häufig nur Körperschall genannt wird, zu beachten. Im Bereich der Freilandstreckenabschnitte ist der Körperschall in den dominierenden direkten Luftschall inkludiert und daher nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Es ist somit zwischen fühlbaren Erschütterungsimmissionen (Frequenzbereich 1-80 Hz, Anhang 1) und hörbaren Körperschallimmissionen (Frequenzen > 16 Hz, Anhang 2) zu unterscheiden.

Untersuchungsraum

Eine Übersicht des Trassenverlaufs ist in Anhang 3 enthalten. Wie daraus ersichtlich ist, schwenkt die Trasse nach der Puntigamer Brücke von der Puntigamer Straße nach Südosten etwa in Richtung zur Kreuzung Casalgasse-Engelsdorfer Straße ab, folgt dann in gestreckter Linienführung dem Verlauf der Engelsdorfer Straße bis zur Kreuzung mit der Stanglmühlstraße und schwenkt dann in einem Boden in den Liebenauer Gürtel ein, der bisher bei der Liebenauer Hauptstraße endet. Von einem Rampenbauwerk bei der Murfelder Straße bis zur Rampe im Bereich Liebenauer Hauptstraße/Liebenauer Gürtel wird der Südgürtel in Unterflurlage geführt, wobei die Engelsdorfer Straße auf das Unterflurbauwerk verlegt wird.

Die genannten Straßen bilden auch derzeit das Wegenetz für das bestehende Verkehrsaufkommen, wobei der Hauptanteil des Verkehrs über die Puntigamer Straße, die Liebenauer Hauptstraße und den Liebenauer Gürtel erfolgt. In diesem Sinne bilden die oben genannten Straßen den Untersuchungsraum für die Prüfung der erschütterungstechnischen Immissionsschutzaspekte.

Methodik

Prinzipiell übt jedes Fahrzeug als rollende Last einen zeitlich veränderlichen Druck auf den Untergrund aus. Dadurch wird unter jedem Rad eine geringfügige elastische Einsenkung des Untergrunds bewirkt, deren Größe von der Art des Untergrunds (z.B. Fels oder Lockersediment) abhängt. Diese somit auch vom Untergrund abhängigen Einsenkungen breiten sich als seismische Schwingungen oder Erschütterungen durch den Untergrund weiter aus.

Die Größe der von einem Kraftfahrzeug ausgelösten Erschütterungen hängt im wesentlichen von der Geschwindigkeit und dem Gewicht des Fahrzeuges sowie insbesondere vom Zustand der Straße ab. Dabei ist bei vollkommen glatter Fahrbahn der Einfluß von Fahrtgeschwindigkeit und Fahrzeuggewicht meßtechnisch praktisch nicht erfaßbar. Neben den insgesamt verhältnismäßig niedrigen Erschütterungsimmissionen dürfte dabei der Umstand eine Rolle spielen, daß die Distanz des einzelnen Kraftfahrzeuges zum Straßenrand

(Meßpunkt) variieren kann und tendenziell bei höheren Fahrtgeschwindigkeiten etwas zunimmt. Auf einer rauhen Fahrbahnoberfläche (Belagsunebenheiten und –ausbesserungen, Schachtdeckel, Splitt, massive Verunreinigungen etc.) hingegen ergibt sich eine deutliche Abhängigkeit von der Fahrtgeschwindigkeit, wie Anhang 4 beispielhaft für LKW-Testfahrten zeigt.

Demnach ist die maximale resultierende Schwinggeschwindigkeit $v_{R,max}$ der Erschütterungsemissionen der Fahrtgeschwindigkeit u nach der Beziehung

$$v_{R,max} = a \cdot b_R \cdot c_G \cdot u$$

direkt proportional. Die Größe der Konstanten a wird dabei von den geodynamischen Eigenschaften von Unterbau und Untergrund, die der Konstanten b von der Fahrbahnrauigkeit und die Konstante c vom Fahrzeuggewicht G bestimmt.

Die dynamischen Übertragungseigenschaften für seismische Schwingungen werden durch eine komplexe Gruppe von Parametern bestimmt. Neben den elastischen Materialeigenschaften und der inelastischen Absorption beeinflussen Abmessung und Anordnung der verschiedenen geologischen Körper die Ausbreitung der Erschütterungsenergie über Brechung, Reflexion und Beugung der seismischen Wellen maßgeblich und bestimmen gleichzeitig das Resonanzverhalten des Untergrundes. Eine weitere Komplikation ergibt sich für die Erschütterungsausbreitung dadurch, daß im Untergrund alle Arten von seismischen Wellen auftreten: neben Raumwellen vom Typ Druck- und Scherwellen existieren noch Oberflächenwellen vom Rayleigh- und Love Typ (vergl. Anhang 5). Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Boden erschütterungen ist nicht nur für alle Wellenarten unterschiedlich groß sondern variiert auch je nach den elastischen Eigenschaften der jeweiligen geologischen Körper in einem Bereich von etwa 200-6000 m/s. Zusätzlich beeinflußt das unterschiedliche Verhalten von Raum- und Oberflächenwellen die Erschütterungsausbreitung: die unterschiedliche räumliche Divergenz beider Wellengattungen führt zu verschiedenen Reichweiten der Erschütterungen je nach Tiefenlage der Erschütterungseinleitung. Bei Freilandstrecken dominiert selbstverständlich die Oberflächenanregung, beim Tunnelbereich kommt es jedoch zu einer Tiefenanregung.

Weitere Komplikationen bilden frequenzselektive Schwingungsdämmung oder Verstärkung insbesondere als Folge des Eigenschwingungsverhaltens der Schichten und Schichtpakete. Gelegentlich werden auch geführte Kanalwellen beobachtet, die bei sandwichartig aufgebauten Untergrundstrukturen außerordentlich große Erschütterungsreichweiten hervorrufen können. Die Erschütterungsübertragung einer aus mehreren horizontal gelagerten Schichten aufgebauten Untergrundstruktur kann sehr frequenzselektiv werden.

Insgesamt wird somit die Erschütterungsausbreitung durch außerordentlich viele verschiedene Faktoren beeinflusst. Es ist daher nicht überraschend, daß selbst umfassende geologische und geotechnische Vorerkundungen (Aufschlußbohrungen, Labortests, etc.) alleine nicht ausreichen, die Bedingungen für die lokale Erschütterungsausbreitung hinreichend genau berechnen zu können: Es sind vielmehr experimentelle Untersuchungen vor Ort erforderlich. Ausgehend von in-situ Versuchen noch vor dem Bau der Straße werden dabei die dynamischen Ausbreitungsverhältnisse lokal untersucht. Als geodynamische Untersuchungsverfahren haben sich dabei die Refraktionsseismik und Durchschallungsversuche bewährt.

Erschütterungsemissionen

Im Nahbereich der Straße sind an einem Meßpunkt, dessen Untergrundverhältnisse möglichst genau mit jenen der projektierten Trasse vergleichbar sein sollen, die Emissionen des Straßenverkehrs zu registrieren. Da die Emissionen der einzelnen Kraftfahrzeuge stark

streuen, muß der Verkehr in einem für eine statistische Bearbeitung ausreichend langem Zeitintervall erfaßt werden.

Durch zusätzliche Erschütterungsmessungen im Wohnbereich von Anrainern werden auch die bestehenden Immissionen des Straßenverkehrs erfaßt.

Baudynamik

Als weitere Schwingungsform für die Erschütterungsausbreitung in Decken, Wänden sowie Platten aller Art und somit in Bauteilen sind Biegewellen maßgeblich (Anhang 6). Da die vorherrschende Bewegungsrichtung dieser Wellenform senkrecht zur Ausbreitungsrichtung und damit auch senkrecht zur Plattenoberfläche erfolgt, neigen Biegewellen besonders zur Schallabstrahlung. Ebenso wie die Kanalwellen besitzen sie eine frequenzabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Einen wesentlichen Anteil an der Übertragung von Erschütterungsimmissionen besitzen deshalb auch die Wohngebäude der Anrainer, deren Verhalten bei Erschütterungseinwirkung je nach Bauausführung und -dimensionen von erzwungenem Mitschwingen bis zur Resonanzanregung die gesamte Bandbreite der Reaktionsmöglichkeiten umfaßt: Resonanz tritt ein, wenn die Erschütterungen wesentliche Frequenzanteile im Bereich der jeweils je nach Bautechnik vorhandenen Eigenfrequenzen besitzen. Solche Gebäudeeigenfrequenzen liegen häufig im Bereich von 2-10 Hz und Deckeneigenfrequenzen bei 10-40 Hz. Baudynamisch sind insbesondere die Ausführung der Decken und der Fundamente von Bedeutung.

Dabei nimmt die Schwingungsanfälligkeit der Decken von einer massiven Stahlbetonplattenausführung über die verschiedenen zwar ebenfalls massiven aber weniger steifen Fertigteil- und Leichtbauformen zur Holztramausführung hin deutlich zu, während gleichzeitig die Resonanzfrequenzen, die auch von der Deckenspannweite stark beeinflußt werden, sinken.

Ebenso sind auch die Dämpfungseigenschaften der verschiedenen Deckenkonstruktionen sehr unterschiedlich. Dabei sind Holztram- und Dippelbaumdecken am ungünstigsten und massive Stahlbetonplattendecken am günstigsten zu bewerten, wie der Vergleich von Anhang 7 zeigt. Von den dazwischen einzureihenden Fertigteildecken sind jene Typen merklich günstiger, die durch eine Aufbetonschicht mit Eisenbewehrung versteift sind.

Die Deckenspannweiten der Wohn- und Schlafräume liegen in Österreich weitgehend in einer einheitlichen Größenordnung. Lediglich bei Wohngebäuden aus der Zeit der Weltwirtschaftskrise bzw. aus den Nachkriegsjahren sind kleinere Raumgrößen vorherrschend. Für die Gebäudeeigenfrequenzen, die mit zunehmenden Bauwerksdimensionen sinken, bieten die Anzahl der Geschoße und der Wohneinheiten (Ein-, Zwei- oder Mehrfamilienhaus) erste Informationen.

Von der Masse eines Gebäudes und insbesondere von der im Fundamentbereich hängt die Dämpfung ab, die Erschütterungen bei der Einleitung in ein Bauwerk erfahren: schwere Gebäude werden weniger stark angeregt. Daher beeinflußt die Ausführungsform der Fundamente und die Bauweise (Mauerwerk, Holzriegel etc.) eines Gebäudes seine Dynamik.

Das Alter eines Bauwerks und die Anzahl allfälliger Umbauten liefern Hinweise über die allgemeine Stabilität eines Bauwerks. Erfahrungsgemäß sind Gebäude, die vor 1920 erbaut sind, und solche mit Kriegsschäden verstärkt erschütterungsanfällig.

In diesem Sinn ist für eine erste Beurteilung des dynamischen Verhaltens eines Gebäudes die Angabe von Hausgröße, Alter, Bauweise, Fundamentierung, der Zahl der Wohngeschoße und der Deckenausführung erforderlich. In Tab.1 sind diese Angaben gemeinsam mit den daraus ableitbaren Aussagen über die Bauwerksdynamik zusammengestellt.

Tabelle 1 Auswirkung der Bauweise auf die Baudynamik

Bautechnische Größen	Baudynamischer Einfluß	Mindestangaben
Bauwerksdimension	Gebäudeeigenfrequenz	Gebäudegröße (Einfamilien-, Reihen-, Mehrfamilienwohnhaus) und Geschoszahl
Fundamentausführung	Dämpfung	Streifen- oder Plattenfundament, Tiefgründung
Bauweise	Steifigkeit, Duktilität	Massivbauweise (Ziegel, Beton), Fertigteile-, Stahlskelett-, Holzbauweise u. dgl.
Deckenbauart	Deckeneigenfrequenz, Schwingungsanfängerung	Holztram-, Leichtbau-, Fertigteile- oder Stahlbetonplattendecke u. dgl. sowie Spannweiten
Baugeschichte	allgemeine Stabilität	Baujahr, Umbauten, Kriegsschäden u. dgl.

Wie unterschiedlich die Erschütterungsimmissionen in den einzelnen Stockwerken eines Gebäudes ausfallen, hängt ebenfalls von der Bauweise ab, wobei die u.a. auch von der Deckenausführung abhängende Bauwerkssteifigkeit die ausschlaggebende Größe darstellt. Dementsprechend kann in älteren Häusern mit Tramdecken die Erschütterungsintensität mit der Stockwerkshöhe merklich zunehmen, während in neueren Gebäuden mit Fertigteildecken bereits eine geringfügige und in Objekten mit Massiv-Stahlbetonplattendecken eine merkliche Abnahme der Erschütterungsintensität mit der Stockwerkszahl eintreten kann.

Da aber die Bauwerksmasse mit der Stockwerkszahl zunimmt, wodurch zusätzlich stärkere Fundamente erforderlich werden, werden die Immissionen bei der Einleitung in ein mehrgeschoßiges Gebäude aber wesentlich stärker abnehmen als etwa bei einem (niedrigen und daher leichten) Einfamilienhaus, weshalb insgesamt in mehrgeschoßigen Häusern mit niedrigeren Immissionen zu rechnen ist (vergl. auch ÖNORM S 9012).

Auf Grund der hier diskutierten Bauwerkseigenschaften kann eine erste Klassifizierung des zu erwartenden dynamischen Bauwerksverhaltens hinsichtlich der Erschütterungs- und Körperschallimmissionen vorgenommen werden, die nach den in der Tab.2 und 3 angegebenen Kriterien erfolgt.

Tabelle 2 Erschütterungsanfälligkeit von Wohngebäuden

Erschütterungsanfälligkeit	Bauwerkscharakteristika
hoch	Holzhäuser, Häuser aus Gasbetonsteinen, Häuser mit Hourdisdecken u.dgl.;
überdurchschnittlich	ein- und zweigeschoßige Massivbauten mit Holzbalkendecken; Gebäude mit Kriegsschäden oder Alter über 80 Jahre; Häuser mit Fertigteildecken ohne Aufbeton;
mittel	mehrgeschoßige Massivbauten mit Holzbalkendecken; Massivbauten mit Fertigteildecken und Streifenfundamenten; ein- und zweigeschoßige Massivbauten mit massiven Stahlbetonplattendecken;
unterdurchschnittlich	mehrgeschoßige Massivbauten mit Fertigteildecken und Plattenfundamenten; mehrgeschoßige Massivbauten mit massiven Stahlbetonplattendecken.

Tabelle 3 Körperschallanfälligkeit von Wohngebäuden

Körperschallanfälligkeit	Bauwerkscharakteristika
hoch	ein- und zweigeschoßige Gebäude mit Leichtbaudecken;
überdurchschnittlich	mehrgeschoßige Gebäude mit Leichtbaudecken;
mittel	mehrgeschoßige Gebäude mit Leichtbaudecken und Plattenfundamenten; ein- und zweigeschoßige Gebäude mit Massiv-Stahlbetondecken;
unterdurchschnittlich	mehrgeschoßige Gebäude mit Massiv-Stahlbetondecken; Gebäude mit Holzbalkendecken.

Gebäude mit Kriegsschäden oder vor 1920 erbaute Häuser werden hinsichtlich ihrer Erschütterungsanfälligkeit um eine Abstufung schlechter eingestuft als ihrer Bauweise entspricht, zumindest aber als „überdurchschnittlich“.

Diese Klassifizierungen sind als Orientierungshilfen zu verstehen, die die im Einzelfall gegebene technische Bandbreite der Möglichkeiten nicht berücksichtigen, sondern lediglich pauschale Durchschnittsbedingungen beschreiben.

Wie verschiedene Untersuchungen gezeigt haben, verändern sich die Immissionen von einer Stufe der Erschütterungs- bzw. Körperschallanfälligkeit zur nächsten im Durchschnitt um jeweils 4 dB, wobei jedoch im Einzelfall eine beträchtliche Streubreite vorhanden ist.

Untersuchungsprogramm

Um die einleitend genannte Fragestellung zu klären, ist ein mehrteiliges Versuchsprogramm entwickelt worden.

Die Dämpfungseigenschaften des Untergrunds und die lokalen Ausbreitungsverhältnisse für Erschütterungen wurden gezielt bei Tunnel- und Oberflächenanregung untersucht, da die Erschütterungsausbreitung an der Erdoberfläche anderen Gesetzmäßigkeiten unterliegt als im Untergrund. An der Oberfläche entwickeln sich mit wachsender Entfernung von der Erschütterungsquelle Oberflächenwellen, die wesentlich energiereicher sind als die Raumwellen. Je näher daher die Fahrbahn zur Erdoberfläche verläuft, desto mehr dominieren die Oberflächenwellen in der Erschütterungsausbreitung.

Zur Untersuchung der Erschütterungsausbreitung vom Tunnelniveau aus sind Durchschallungsversuche in der Kernbohrung KB 2 mittels Kleinsprengungen erfolgt, um die lokalen Dämpfungseigenschaften des Untergrundes entlang des zukünftigen Ausbreitungsweges der Erschütterungen zu ermitteln.

Die Erschütterungsausbreitung bei Oberflächenanregung ist mittels des derzeitigen Straßenverkehrs an einem Profil in der Puntigamer Straße untersucht worden.

Weiters sind die Erschütterungsimmissionen des Straßenverkehrs im Haus Puntigamer Straße 81 gemessen worden.

Aufgabe dieser Untersuchung ist es, den Schutz der Anrainer vor den Erschütterungen des Verkehrs zu prüfen und die diesbezüglichen Folgen des Straßenbauprojektes zu untersuchen. Im Sinne des UVP-Gesetzes sind somit die Schutzgüter

- Mensch
- Sach- und Kulturgüter

Gegenstand dieser Untersuchung.

Nach ÖNORM S 9001 soll eine Beurteilungskenngröße die Erschütterungswirkung auf den Menschen möglichst unabhängig von der Frequenz charakterisieren. Daher bildet die Bewertete Schwingstärke K nach ÖNORM S 9010 die geeignete Beurteilungskenngröße. Als Kenngröße der hörbaren Körperschallimmissionen wird nach ÖNORM S 5001-1 bis 5 der A-bewertete Schallpegel verwendet. Beide Größen sind im Wohnbereich zu ermitteln. Zur Beurteilung beider Immissionsgrößen werden die Kriterien von ÖNORM S 9012 verwendet. Die Beurteilungskenngröße der Belastung von Bauwerken durch Erschütterungen stellt gemäß ÖNORM S 9001 die Schwinggeschwindigkeit dar, zu der nach ÖNORM S 9020 ergänzend noch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen herangezogen werden kann. Die Beurteilung der Schädlichkeit der Erschütterungen erfolgt nach Richtwerten, die sich aus ÖNORM S 9020 ergeben.

Seismogrammauswertung

Erschütterungen können als Zeitverlauf von Schwingweg w , Schwinggeschwindigkeit v oder Schwingbeschleunigung a gemessen werden. Die Auswertung entsprechender Seismogrammaufzeichnungen ist für alle drei Größen gleich und wird hier am Beispiel der Schwinggeschwindigkeit behandelt. Da es sich hierbei um vektorielle Größen handelt, schreibt die ÖNORM S 9001 die Verwendung der zeitgleichen resultierenden Schwinggeschwindigkeit v_R vor, die aus den drei orthogonalen Komponenten zu ermitteln ist:

$$v_{R,max} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

Die Orientierung der Komponenten erfolgt üblicherweise so, daß folgende Bezeichnungen gelten:

- | | |
|-------|--|
| v_x | Horizontalkomponente "parallel": in Richtung zur Erschütterungsquelle (Fahrbahn), parallel zur Wirkungsachse |
| v_y | Horizontalkomponente, normal dazu |
| v_z | Vertikalkomponente |

Zur Beschreibung des Erschütterungsverlaufs ist außerdem noch die Angabe des Frequenzinhalts erforderlich, der mittels Fourier-Analyse bestimmt wird

$$f(x) = \sum_k r_k \cdot \cos(k \cdot x + \phi_k)$$

Meßtechnisch ist die Erfassung der Schwinggeschwindigkeit den beiden anderen Größen vorzuziehen, da hier der größte Dynamikumfang erzielt wird und zur Schwingwegermittlung nur

einmal integriert bzw. zur Schwingbeschleunigungsermittlung nur einmal differenziert werden muß.

Die weitere Auswertung zur Beurteilung der Bauwerksbelastung erfolgt nach ÖNORM S 9020. Dabei kann der nach diesem Verfahren ermittelte maximale Scheitelwert der Schwinggeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Randbedingungen (z.B. Zahl der Lastwechsel) mit geeigneten Grenzwerten, wie sie etwa in ÖNORM S 9020 enthalten sind, verglichen werden, um eine pauschale Beurteilung der Zulässigkeit der Erschütterungsbelastung zu gestatten.

Die in den Erschütterungsnormen angegebenen Schwinggeschwindigkeitsgrenzwerte sind grundsätzlich außerordentlich konservativ festgelegt. Daher bedeutet die Überschreitung dieser Grenzwerte nicht, daß ein Bauwerk akut erschütterungsgefährdet ist, sondern lediglich, daß dieses stark vereinfachte Auswerteverfahren nicht mehr ausreichend ist. Es ist dann eine Abschätzung der auf das Bauwerk einwirkenden Druck- und Schubwechselspannungen erforderlich, um die Gefährdung eines Bauwerkes endgültig beurteilen zu können.

Analog erfolgt die Auswertung zur Beurteilung der menschlichen Wahrnehmung nach den ÖNORMEN S 9010 und S 9012, wobei eine Frequenzbewertung zur Bestimmung der Bewerteten Schwingstärke erforderlich ist.

Im folgenden werden zunächst die zumutbaren Erschütterungs- und Körperschallimmissionen des Verkehrs behandelt und danach Begrenzungen für die Bauarbeiten.

Erschütterungseinwirkung auf den Menschen

Der Zusammenhang zwischen den objektiv meßbaren Schwingungsgrößen (Schwingbeschleunigung, Schwinggeschwindigkeit, Schwingweg) und der subjektiven Wahrnehmung wird durch die Bewertete Schwingstärke K nach ÖNORM S 9010 beschrieben. Die Schwingungsbelastung des Menschen wird durch die Intensität, das Frequenzspektrum und die Einwirkungsrichtung der Erschütterungen bestimmt, weshalb diese drei Parameter den Betrag der Bewerteten Schwingstärke mitbestimmen. Dadurch wird es möglich, Schwingungswahrnehmungen einer bestimmten Stärke unabhängig von der Meßgröße, Richtung und Frequenz einerseits und der menschlichen Tätigkeit bzw. Einstellung andererseits durch einen einheitlichen Zahlenwert zu beschreiben.

Der Zusammenhang zwischen der derart definierten Bewerteten Schwingstärke und der subjektiven Wahrnehmung wird in Tab.4 in einer empirisch bestimmten Abstufung angegeben.

Tabelle 4 Zusammenhang zwischen Bewerteter Schwingstärke K und Wahrnehmung

Bewertete Schwingstärke K	Beschreibung der Wahrnehmung
0,1	nicht spürbar
0,2	gerade spürbar
0,4	schwach spürbar
0,8	spürbar
1,6	deutlich spürbar
3,15	stark spürbar
6,3	
12,5	
25	sehr stark spürbar
50	
100	

Die sogenannte Föhlschwelle wird in der Norm nicht definiert, da die Erschütterungsintensität, die für die beginnende Wahrnehmbarkeit von Erschütterungen erforderlich ist, wesentlich von der Aufmerksamkeit der Betroffenen abhängt. Nur bei gespannter Aufmerksamkeit wird eine Erschütterung der Bewerteten Schwingstärke $K=0,1$ tatsächlich wahrgenommen werden können. Jede Ablenkung (Zuhören, Lesen etc.) vermindert die Wahrnehmbarkeit von Erschütterungen bereits beträchtlich und eigene Aktivitäten (Reden, Essen etc.) noch mehr. Dementsprechend kann die Föhlschwelle nicht als Schwellwert sondern nur als Schwellenband angegeben werden, das von mehreren Faktoren beeinflusst wird: häufig wird die Bewertete Schwingstärke dabei im Bereich von $K=0,15$ bis $0,25$ liegen.

Wie einschlägige Laborversuche (Said et al., 2000) zeigen, kann der Mensch verschieden starke Erschütterungsmissionen erst dann unterscheiden, wenn sich ihre Stärke um 25% ändert; in Dezibel ausgedrückt ergibt dies ein Auflösungsvermögen des Menschen für unterschiedliche Erschütterungsmissionen von $\pm 2 \text{ dB}_v$, das somit demjenigen für Schallmissionen recht ähnlich ist. Daraus ergibt sich, daß der Mensch erst eine Verdoppelung (Halbierung) des Schwingstärkewertes als wesentliche Qualitätsveränderung empfindet, die eine unterschiedliche Wahrnehmungscharakterisierung zur Folge hat. Dies kommt auch in der Normabstufung zum Ausdruck (vergl. Tab.4).

Da beim Aufenthalt in Wohnungen die Freiheit des Menschen, seine Körperhaltung zu wählen (Stehen, Sitzen, Liegen), nicht eingeengt werden darf, sieht die ÖNORM S 9010 für diese im Umweltschutz häufige Problemstellung ein Bewertungsverfahren vor, bei dem alle drei Komponenten eines orthogonalen Koordinatensystems gleiches Gewicht haben.

Für diese Aufgabenstellung gilt nach ÖNORM S 9010 für die Bewertete Schwingstärke im Frequenzbereich von 1-80 Hz die folgende formelmäßige Beziehung mit den physikalisch meßbaren Kennwerten der Schwingung, wobei der Frequenzbereich in drei Teilbereiche geteilt betrachtet wird:

$$\begin{array}{lll}
 1 \leq f \leq 2 \text{ Hz} & K_B = 28 \cdot a_{\text{eff}} & \text{oder} & K_B = 56 \cdot \pi \cdot f \cdot v_{\text{eff}} \\
 2 \leq f \leq 8 \text{ Hz} & K_B = \frac{33,5 \cdot a_{\text{eff}}}{\sqrt[4]{f}} & \text{oder} & K_B = 67 \cdot \pi \cdot \sqrt[4]{f^3} \cdot v_{\text{eff}} \\
 8 \leq f \leq 80 \text{ Hz} & K_B = \frac{160 \cdot a_{\text{eff}}}{f} & \text{oder} & K_B = 320 \cdot \pi \cdot v_{\text{eff}}
 \end{array}$$

mit f Frequenz in Hz
 a_{eff} Effektivwert der Schwingbeschleunigung in m/s^2
 v_{eff} Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit in m/s

In Anhang 1 ist diese Bewertungsfunktion des Effektivwertes der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt.

Für die Effektivwertbildung schreibt die ÖNORM S 9010 eine Integrationszeit zwischen 0,5 und 1 Sekunde vor oder eine praktisch gleichwertige exponentielle Mittelung mit kurzer Zeitkonstante (125 ms). Dadurch wird dem Umstand Rechnung getragen, daß der Mensch dazu neigt, seinen Eindruck mehr von den kürzlichen und gegenwärtigen Sinneswahrnehmungen beeinflussen zu lassen, frühere aber allmählich zu vergessen. Die Effektivwertberechnung bildet den mathematischen Ausdruck für die Gedächtnisfunktion, wobei das Integrationsintervall den Zeitraum beschreibt, den das Gedächtnis erfaßt.

Zur Beurteilung verkehrsbedingter Erschütterungsmissionen dient ÖNORM S 9012. Diese gilt an sich für Erschütterungen des Schienenverkehrs. Da aber die Immissionskennwerte des Kfz-Verkehrs jenen des Bahnverkehrs sehr ähnlich sind (zeitlich auf Vorbeifahrt begrenzt,

hohe Variabilität) ist sie auch zur Beurteilung der Straßenverkehrserschütterungen heranzuziehen (siehe ÖNORM S 9012 – Anwendungsbereich).

Wie verschiedene Untersuchungen gezeigt haben, sind vom Straßenverkehr stammende, im Wohnbereich spürbare Erschütterungen primär von schweren LKW's und Autobussen verursacht.

Da die einwirkenden Erschütterungen des Straßenverkehrs ebenso wie die vorbeifahrender Züge zeitlich stark variabel sind, ist die zeitliche Verteilung der Erschütterungsbelastung während ihrer Einwirkungsdauer zu erfassen.

Die Einwirkungsdauer T ist dabei jene Zeitspanne, in der der Mensch durch Erschütterungen, die die Fühlschwelle überschreiten, belastet wird. Zeiten ohne wahrnehmbare Erschütterungsimmission ($K_B \leq 0,10$) sind nicht in die Einwirkungsdauer einzubeziehen, weshalb jede Vorbeifahrt eines Kfz oder einer Kfz-Kolonne zunächst als Einzelereignis zu bewerten ist.

Das ÖNORM-Verfahren zur Erschütterungsbeurteilung sieht Beurteilungskriterien vor, die die Erschütterungsintensität und die Einwirkungsdauer berücksichtigen.

Zur Durchführung des Beurteilungsverfahrens ist die ständige Messung der Erschütterungen, die laufende Effektivwertbestimmung und frequenzmäßige Bewertung wie vorhin beschrieben erforderlich.

Aus den dadurch erhaltenen, ständig wechselnden K -Werten wird das Maximum für jede Passage ermittelt, das als Schwingstärke-Scheitelwert $K_{B,max}$ zur Beurteilung zu verwenden ist, da die bisherigen Untersuchungen darauf hinweisen, daß Anrainer jedes Immissionsereignis nach seinem Erschütterungsmaximum beurteilen.

Aus den K_B -Maxima der einzelnen Passagen einer Kfz-Kategorie (PKW, LKW etc.) wird der "energieäquivalente" Maximalwert, der mittlere Schwingstärke-Scheitelwert K_{BS} für die Kfz-Kategorie ermittelt.

$$K_{BS} = \sqrt{\frac{1}{T_e} \cdot \sum_i (t_{e,i} \cdot K_{B,max,i}^2)}$$

$K_{B,max,i}$	Schwingstärke-Scheitelwert des i-ten Kfz's
$t_{e,i}$	Einwirkungsdauer fühlbarer Erschütterungen des i-ten Kfz's
$T_e = \sum t_{e,i}$	gesamte Einwirkungsdauer

Während aber beim Bahnverkehr verschiedene Zugarten (Güterzüge, Fernreisezüge etc.) berücksichtigt werden müssen, wozu die Mittelbildung über alle Zugarten erfolgt, sind beim Straßenverkehr nur die Schwerfahrzeuge von Bedeutung, weshalb der so erhaltene K_{BS} -Wert ohne weitere Mittelbildung gleich die Beurteilungsschwingstärke K_r darstellt.

Dieser K_r -Wert ist mit Hilfe von einwirkungsdauerabhängigen Kriterien zu beurteilen. Die dazu benötigte Einwirkungsdauer fühlbarer Erschütterungen während einer gesamten Beurteilungsperiode (Tag=16 Stunden, Nacht=8 Stunden) kann aus der Meßperiode unter Berücksichtigung des Verkehrsaufkommens extrapoliert werden. In den Anhängen 8 und 9 sind diese Kurven für die Gebietskategorien "ländliches Wohngebiet" und "städtisches Wohngebiet" nach ÖNORM S 5021-1, für die die ÖNORM S 9012 einheitliche Kriterien vorsieht, wiedergegeben, wobei in beiden Fällen zwischen gutem und ausreichendem Erschütterungsschutz unterschieden wird.

Die Richtwertkurven der Anhänge 8 und 9 sind durch die in den Tab.5 und 6 für alle Gebietskategorien angegebenen Beziehungen für Tag bzw. Nacht festgelegt.

Tabelle 5 Flächenwidmungsabhängige Schwingstärke-Kriterien als Funktion der Dauer der aufsummierten Einwirkungszeit T_e fühlbarer Erschütterungen während der Beurteilungsperiode Tag nach ÖNORM S 9012

Erschütterungsschutz	Gebietskategorie	aufsummierte Einwirkungszeit T_e		
		$T_e=10s$	$10s < T_e = 4000s$	$T_e=4000s$
ausreichend	Krankenhaus	6,0	$18,98/\sqrt{T_e}$	0,3
	ländl. Wohngebiet	8,0	$25,30/\sqrt{T_e}$	0,4
	städt. Wohngebiet	8,0	$25,30/\sqrt{T_e}$	0,4
	Kerngebiet	10,0	$31,62/\sqrt{T_e}$	0,5
	lärmarm. Betriebsgebiet	12,0	$37,96/\sqrt{T_e}$	0,6
gut	Krankenhaus	3,0	$9,49/\sqrt{T_e}$	0,15
	ländl. Wohngebiet	4,0	$12,65/\sqrt{T_e}$	0,2
	städt. Wohngebiet	4,0	$12,65/\sqrt{T_e}$	0,2
	Kerngebiet	6,0	$18,98/\sqrt{T_e}$	0,3
	lärmarm. Betriebsgebiet	8,0	$25,30/\sqrt{T_e}$	0,4

Ebenso wie für die mittleren Schwingstärke-Scheitelwerte gibt ÖNORM S 9012 auch für die Beurteilungsschwingstärke K_r bei der Gebietskategorie 5 (lärmarmes Betriebsgebiet) kein eigenes "Nacht"-Kriterium an.

Tabelle 6 Flächenwidmungsabhängige Schwingstärke-Kriterien als Funktion der Dauer der aufsummierten Einwirkungszeit T_e fühlbarer Erschütterungen während der Beurteilungsperiode Nacht nach ÖNORM S 9012

Erschütterungsschutz	Gebietskategorie	aufsummierte Einwirkungszeit T_e		
		$T_e < 450s$	$450s \leq T_e \leq 2000s$	$T_e > 2000s$
ausreichend	Krankenhaus	0,6	$12,72/\sqrt{T_e}$	0,28
	ländliches Wohngebiet	0,6	$12,72/\sqrt{T_e}$	0,28
	städtisches Wohngebiet	0,6	$12,72/\sqrt{T_e}$	0,28
	Kerngebiet	0,8	$16,98/\sqrt{T_e}$	0,38
	lärmarmes Betriebsgebiet	siehe Beurteilungsperiode Tag		
gut	Krankenhaus	0,3	$6,36/\sqrt{T_e}$	0,14
	ländliches Wohngebiet	0,3	$6,36/\sqrt{T_e}$	0,14
	städtisches Wohngebiet	0,3	$6,36/\sqrt{T_e}$	0,14
	Kerngebiet	0,4	$8,49/\sqrt{T_e}$	0,2
	lärmarmes Betriebsgebiet	siehe Beurteilungsperiode Tag		

Die in den vorangegangenen Tabellen angegebenen Richtwerte können mit den Erschütterungsimmissionen verglichen werden, die der Mensch im Alltagsleben in seinem Wohnbereich spürt. Charakteristisch ist dabei, daß fühlbare Erschütterungsimmissionen dabei nur kurzfristig auftreten. Die Maxima der Bewerteten Schwingstärke erreichen für Erwachsene am Eßtisch öfters $K_B = 0,3-0,5$, beim Wohnzimmeraufenthalt gelegentlich sogar $K_B = 1,0-2,2$. Bei Erschütterungsimmissionen aus Nebenzimmern oder Nachbarwohnungen sind immer noch fallweise Erschütterungsspitzen von $K_B = 0,2-0,3$ zu beobachten.

Körperschall

Jener Anteil der Erschütterungen, der sich im Untergrund in Form von Druckwellen ausbreitet und dessen Frequenzspektrum im hörbaren Bereich liegt, führt an einer Oberfläche zu einer sekundären Schallabstrahlung, dem Körperschall. Eine Folge dieser Oberflächenbezogenheit ist es aber, daß die auftretenden Körperschallimmissionen sehr stark von den Schwingungsei-

enschaften der Gebäude und insbesondere jener der Decken beeinflusst werden. Als Konsequenz davon werden Körperschallangaben (ebenso wie Erschütterungsangaben) auf Räume bezogen.

Beim Körperschall ist die vom Untergrund abgestrahlte Schall-Leistung dem Quadrat der Schwinggeschwindigkeit proportional. Der Luftschallpegel bestimmt sich daher aus der Schwinggeschwindigkeit in Terzen von 10 Hz Mittenfrequenz aufwärts als zwanzigfacher Zehnerlogarithmus der Terzband-Schwinggeschwindigkeitspegel über $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s. Daraus ist dann der gesamte A-bewertete Luftschallpegel zu berechnen. Der Verlauf der A-Bewertungskurve ist aus Anhang 2 ersichtlich.

Während aber die direkte, durch die Luft übertragene Schallabstrahlung des Verkehrs auf der Freilandstraße bereits lange vor bzw. nach der Vorbeifahrt für die Anrainer hörbar ist, begrenzt in einem Tunnel die Übertragung durch den Untergrund die Immissionsandauer des Körperschalls an sich auf die Dauer der Vorbeifahrt, die der Fahrtgeschwindigkeit indirekt proportional ist.

Nach ÖAL-Richtlinie 6/18 "Wirkungen des Lärms auf den Menschen" sind A-bewertete Schallpegelspitzen von 54 dB als Belastungsgrenzwert nächtlicher Körperschallimmissionen anzusehen, u.zw. weil bei höheren Pegeln Weckreaktionen auftreten (Anhang 10), wenn eine größere Anzahl von Schallereignissen während einer Nacht eintritt.

Wahrnehmbarkeit der Körperschallimmissionen

Als sekundärer Luftschall werden die Immissionen des Strassenverkehrs in den Tunnelstrecken in geschlossenen Räumen dann wahrnehmbar werden, wenn sie sich über den lokal vorhandenen Grundgeräuschpegel erheben. Erst ab einer gewissen Größe der Überschreitung wird versucht, die Immissionsursache zu identifizieren. Bei noch größeren Überschreitungen werden Schallimmissionen dann zuerst als störend empfunden und führen schließlich zu öffentlichen Reaktionen (Beschwerdeführungen etc.).

Beurteilung von Körperschallimmissionen

Die Beurteilung der sekundären Luftschallimmissionen des Verkehrs erfolgt nach ÖNORM S 9012 mittels der Maximalpegel des Verkehrs. Die Grundlage bilden die maximalen, A-bewerteten Schalldruckpegel $L_{A,max}$, die bei der Vorbeifahrt der Kfz's mit der Anzeigedynamik "slow" gemessen werden.

Aus den A-bewerteten Maximalpegeln wird durch energetische Mittelung der mittlere A-bewertete Maximalpegel

$$L_{A,max,m} = 10 \cdot \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{A,max,i}}{10}}$$

des Kfz-Verkehrs bestimmt.

Dieser mittlere A-bewertete Maximalpegel darf die in Tab.7 angeführten Pegelwerte nicht übersteigen.

Tabelle 7 Beurteilungskriterien für den mittleren A-bewerteten Maximalpegel bei Nacht

Gebietskategorie nach ÖNORM S 5021 Teil 1	Beurteilungskriterium
a) ausreichender Schallschutz	
Kurgebiet	30 dB(A)
ländliches Wohngebiet	35
städtisches Wohngebiet	35
Kerngebiet	40
lärmarmes Betriebsgebiet	40
b) guter Schallschutz	
Kurgebiet	25 dB(A)
ländliches Wohngebiet	30
städtisches Wohngebiet	30
Kerngebiet	35
lärmarmes Betriebsgebiet	35

Für die Tagstunden an Sonn- und Feiertagen, sowie für die Abendstunden an Werktagen sind die Angaben von Tab.7 um 5 dB(A) und für die Tagstunden an Werktagen um 10 dB(A) zu erhöhen.

Wie aus ÖNORM S 5003 Teil 2 ersichtlich ist, entspricht bei niedriger Lautstärke die A-Bewertungskurve im tieffrequenten Bereich sehr gut den Kurven gleicher Lautstärke: unterhalb vom 40 dB-Pegel werden die ganz tiefen Frequenzen durch die A-Bewertungskurve sogar überbewertet (Anhang 11).

Folgende Schallpegel von haustechnischen Anlagen liefern einen Vergleich mit Alltagsgeräuschen. Nach ÖNORM B 8115-2 dürfen hausinterne Geräusche in den jeweils zu schützenden Räumen folgende Schallpegel nicht übersteigen:

gleichbleibende oder intermittierende Geräusche (z.B. Heizungen, Kühlturmpumpen)	25 dB(A)
kurzzeitig schwankende Geräusche (z.B. Aufzug)	30 dB(A)
Trittschall von darüberliegenden Räumen etc.	46 dB(A)

Vereinfacht ausgedrückt zeigt dieser Vergleich der Normangaben, daß die zulässigen Geräuschpegel des Verkehrs etwa im Niveau der hausintern zulässigen Geräusche liegen.

Erschütterungseinwirkung auf Bauwerke

Die Richtwerte für die Schwinggeschwindigkeitsbeurteilung sind mit Hilfe der ÖNORM S 9020 festzulegen. Dabei besteht eine Abhängigkeit der Richtwerte von den dynamischen Eigenschaften des Untergrundes, die am einfachsten durch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Druckwellen erfaßt werden (siehe Anhang 12). Wenn hierüber keine Angaben vorhanden sind, sind unbewertete Richtwerte zu verwenden, denen ungünstige Untergrundeigenschaften zugrunde liegen.

Für oberflächennahe Lockersedimente ergeben seismische Messungen meistens lokal stark streuende Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Druckwellen, die in ungünstigsten Fällen bis auf $c_p=500$ m/s absinken können, was der Ausbreitungsgeschwindigkeit für unbewertete Richtwerte entspricht. Mit zunehmender Tiefenlage nehmen die Ausbreitungsgeschwindigkeiten auch in Abhängigkeit vom geologischen Aufbau mehr oder weniger rasch zu. Bereits im 5-15 m Tiefe sind Ausbreitungsgeschwindigkeiten um $c_p=1500$ m/s häufig zu erwarten.

Demnach ergeben sich die in Tab.8 angeführten Richtwerte der maximalen resultierenden Schwinggeschwindigkeit im Fundamentbereich für die in Anhang 13 beschriebenen Gebäudeklassen.

Tabelle 8 Richtwerte der zulässigen maximalen resultierenden Schwinggeschwindigkeit impulsförmiger einzelner Erschütterungen für verschiedene Untergrundverhältnisse nach ÖNORM S 9020

Gebäudeklasse	Gebäudeart	Richtwert $v_{R,max}$	
		Untergrund unbewertet ($c_p=500$ m/s)	Untergrund bewertet ($c_p=1500$ m/s)
I	Industriebauten	30 mm/s	34 mm/s
II	Wohnbauten	20 mm/s	22 mm/s
III	Bauten geringerer Rahmensteifigkeit	10 mm/s	12 mm/s
IV	denkmalgeschützte Bauten	5 mm/s	5,5 mm/s

Die Untergrundbewertung bewirkt im hier angeführten Beispiel demnach eine Anhebung der Richtwerte um ca. 10 %. Die Anwendung der Untergrundbewertung setzt aber entsprechende seismische Meßergebnisse voraus.

Bei der Richtwertfestlegung ist allerdings zu beachten, daß die ÖNORM für impulsförmige Bauwerksererschütterungen ausgelegt ist, die täglich nur einige Male auf ein Bauwerk einwirken (ÖNORM S 9020, Abschnitt 4.3), wie etwa Sprengungen. Um der Häufigkeit der Kfz-Passagen Rechnung zu tragen, sind daher die in Tab.8 angegebenen Richtwerte um bis zu 60% zu reduzieren, sodaß sich für den Fundamentbereich für die Gebäudeklasse III ohne Untergrundbewertung beispielsweise ein Richtwert von

$$v_{R,max} = 4 \text{ mm/s}$$

ergibt.

Dieser Richtwert steht in Übereinstimmung mit der Schweizer Norm SN 640312a, die für normal empfindliche Gebäude bei Verkehrserschütterungen einen Richtwert von

$$v_{R,max} = 3-6 \text{ mm/s}$$

vorsieht.

Das Zutreffen dieses Richtwertes läßt sich auch unter der Annahme des Extremfalls einer Dauererschütterung, die in der ÖNORM nicht behandelt werden, beurteilen. Hiefür sieht die DIN 4150 Teil 3 vor, daß bei mehrgeschoßigen Bauten horizontale Erschütterungen bis zu

$$v_{H,max} = 5 \text{ mm/s}$$

gemessen am Ort maximaler Erschütterung selbst bei Dauereinwirkung schadensmäßig unbedenklich sind. Für stationäre Deckenschwingungen wird darüber hinaus eine maximale Schwinggeschwindigkeit (auf der Decke gemessen) von

$$v_{R,max} = 10 \text{ mm/s}$$

als zulässig festgelegt.

Die hier diskutierte Erschütterungsbelastbarkeit von Bauwerken ist streng von ihrer als Duktilität oder Verformungsvermögen bezeichneten Anfälligkeit zur Schwingungsanregung bei Erschütterungseinwirkung zu unterscheiden, die sich für Menschen störend bemerkbar machen kann. Beispielsweise besitzen Holzhäuser eine außerordentlich hohe Erschütterungsbelastbarkeit und werden durch Schwingungseinwirkung kaum Schaden nehmen. Gleichzeitig besitzen sie aber eine hohe Anfälligkeit zur Schwingungsanregung, weshalb die Bewohner bei Erschütterungseinwirkung starken Immissionen ausgesetzt sein können.

Zum Schutz der Häuser entlang der Straßentrasse sind daher entsprechend ihrer Zuordnung zu den Gebäudeklassen von ÖNORM S 9020 die in Tab.9 angegebenen maximalen resultierenden Schwinggeschwindigkeiten im Fundamentbereich einzuhalten.

Tabelle 9 Grenzwerte zulässiger maximaler resultierender Schwinggeschwindigkeiten $v_{R,max}$ von Verkehrserschütterungen im Fundamentbereich

Gebäudeklasse	$v_{R,max}$ in mm/s
I	12
II	8
III	4
IV	2

Diese Grenzwertangaben nach ÖNORM S9020 beziehen sich auf das Schwinggeschwindigkeitsmaximum am Ort der Erschütterungseinleitung in ein Gebäude und somit dessen Fundamentbereich. Bei Messungen in Obergeschoßen auf Zimmerböden können infolge der Biegeschwingungen der Deckenkonstruktion höhere Schwinggeschwindigkeiten auftreten, was durch die Gebäudeklasseneinteilung (Anhang 13) von ÖNORM S 9020 bei der Grenzwertfestlegung bereits berücksichtigt wird. Schwinggeschwindigkeitsmaxima auf Obergeschoßdecken können daher als obere Abschätzung zur Beurteilung der Erschütterungsbelastung von Gebäuden herangezogen werden: wenn auf einer Geschoßdecke der jeweilige Grenzwert von Tab.9 eingehalten wird, sind die Anforderungen des Bauwerksschutzes erfüllt.

IST-Zustand

Geologisch besteht der Untergrund des Streckenabschnitts aus drei übereinanderliegenden Einheiten:

- dem Beckenuntergrund aus paläozoischen Festgesteinen,
- dem Tertiär aus tonig-schluffigen bis sandig-schluffigen Sedimenten, das als Grundwasserstauer wirkt, und
- den quartären Schottern des Grazer Feldes.

Der prätertiäre Beckenuntergrund liegt innerhalb dieses Streckenabschnitts größenordnungsmäßig etwa 150-200 m unter dem Meeresspiegel. Das darauf lagernde Tertiär besitzt eine breit-rinnenförmig ausgebildete Form, deren Achse im Projektbereich etwa im Bereich der Mur verläuft. Dementsprechend steigt das Tertiär von größenordnungsmäßig 20 m unter GOK bei der Mur bis auf etwa 15 m unter GOK bei der Liebenauer Hauptstraße an. Über diesem Grundwasserstauer lagern fluviatile Terrassenschotter des Quartärs, die einen bedeutenden

Grundwasserleiter darstellen. Die Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels liegt im Durchschnitt bei etwa 2 m. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt im Unterflurbereich des Südgürtels etwa 4-5 m unter GOK.

Entlang der Trasse sind die Untergrundverhältnisse durch ein umfangreiches Bohrprogramm erkundet worden. Anhang 14 zeigt einen Ausschnitt aus dem geologischen Längenschnitt vom Bereich Casalgasse-Engelsdorfer Straße, der als charakteristisch für die Trasse angesehen werden kann.

Elastische Körper müssen infolge ihrer Schwingungsfähigkeit Eigenfrequenzen besitzen, die von den elastischen Moduli und den Körperdimensionen abhängen, wie dies in Anhang 15 für die Grundschwingung und die beiden ersten Oberschwingungen einer in Resonanz befindlichen Schicht dargestellt ist. Für den häufigen Fall horizontal gelagerter, hinreichend homogener und isotroper Schichten existiert nach der Theorie von Roeset eine analytische Lösung für die Berechnung der frequenzabhängigen Übertragungsfunktion der Erschütterungen. Darin wird die unterste "Schicht" als elastischer Halbraum angenommen. Dieses einfache Modell hat sich im Erdbebeningenieurwesen für die Untersuchung der spektralen Übertragungseigenschaften von geschichteten Lockersedimenten über einem Grundgebirge als ausreichend genaue Annäherung der natürlichen Lagerungsbedingungen vielfach bewährt.

Die Anzahl der auftretenden Schwingungsordnungen wird dabei durch die Viskosität des Materials nach oben hin begrenzt. Unter der Voraussetzung, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen mit der Tiefe anwächst, ergibt sich dabei eine umso größere Verstärkung der Erschütterungen je kräftiger der Geschwindigkeitssprung an der Schichtgrenze ist.

Wenn der Untergrund aus mehr als zwei Schichten aufgebaut ist, so überlagern sich die Resonanzfrequenzen der einzelnen Schichten, wobei die Bedeutung der Oberwellen beträchtlich zunimmt und oft dominant wird.

Diese Zusammenhänge gelten sowohl für P- als auch für S-Wellen. Da aber beide Wellengattungen unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten besitzen, ergeben sich auch unterschiedliche spektrale Übertragungsfunktionen. Da außerdem die Schwingungsrichtung der Teilchen für die verschiedenen Wellengattungen (siehe Anhang 5) unterschiedlich ist, ergeben sich für die drei Schwingungskomponenten auch Frequenzspektren, die sich hinsichtlich Zusammensetzung und Bandbreite unterscheiden. Dabei haben die Scherschwingungen im Untergrund schmälere Frequenzspektren.

Die Scherwellen-Übertragungsfunktion läßt sich auch auf Oberflächenwellen anwenden, da der Unterschied in den Ausbreitungsgeschwindigkeiten meist vernachlässigbar klein ist.

Modellberechnungen der mittleren spektralen Übertragungseigenschaften des Untergrunds sind in Anhang 16 für Druck- und Scherwellen wiedergegeben. Wie daraus ersichtlich ist, besitzt der Untergrund extrem breitbandige Spektren der bevorzugten Erschütterungsübertragung. Mehrere Frequenzbänder treten dabei hervor, u.zw. das 3 Hz- und das 12,5 Hz-40 Hz-Band bei den Druckwellen sowie das 6 Hz-, das 12 Hz-, das 20 Hz- und das 31 Hz-Band bei den Scherwellen. Zusätzlich ist auch eine sekundäre Verstärkung im 63 Hz bzw. 50 Hz Bereich zu erkennen.

Ausbreitung von Erschütterungen

Die Ausbreitung der Erschütterungen hängt sehr stark von der Geometrie der geologischen Struktur und insbesondere von den dynamischen Materialeigenschaften dieser Struktur ab. Diese Materialeigenschaften werden am einfachsten durch die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen charakterisiert.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, daß die Erschütterungsausbreitung an der Erdoberfläche anderen Gesetzmäßigkeiten unterliegt als im Untergrund. An der Oberfläche entwickeln sich mit wachsender Entfernung von der Erschütterungsquelle Oberflächenwellen, die wesentlich energiereicher sind als die Raumwellen. Je tiefer daher die Straßenoberfläche unter der Erdoberfläche liegt, desto weniger werden aber Oberflächenwellen in der Erschütterungsausbreitung auftreten. Die Tieflegung der Trasse ist daher bezüglich der Erschütterungen auch als Immis-sionsschutzmaßnahme zu werten.

Die Ausbreitungsbedingungen wurden mit Hilfe der Verkehrserschütterungen in der Puntigamer Straße in einer mehrstündigen Meßperiode erfaßt. Die Messungen erfolgten in 1,7 m und 11 m Entfernung vom Fahrbahnrand der 7 m breiten Straße. Da Kfz nicht unmittelbar am Fahrbahnrand fahren, wurde die Auswertung für entsprechend größere Distanzen zum Fahrzeug durchgeführt.

In Anhang 17 ist die Seismogrammanalyse der Erschütterungen eines schweren LKW's wiedergegeben. Die Frequenzanalysen zeigen die für Straßenverkehrserschütterungen typischen niederfrequenten Spektren, wobei die vorherrschenden Frequenzen sehr gut mit dem geodynamischen Rechenmodell (Anhang 16) übereinstimmen.

Erwartungsgemäß ist die Intensität der Verkehrserschütterungen stark streuend und wird offensichtlich vorwiegend von der Fahrtgeschwindigkeit und der Masse der Kfz beeinflusst (siehe Abschnitt 2.2.1).

Die Entfernungsabhängigkeit der Erschütterungen des Schwerverkehrs ist in Anhang 18 grafisch wiedergegeben. Überraschenderweise zeigt sich dabei, daß entfernungsbereinigt der Verkehr am näheren Fahrstreifen deutlich größere Erschütterungen auslöst wie der am entfernteren, weshalb die Analyse für beide Fahrstreifen (=Fahrtrichtungen) getrennt erfolgt. Die Regressionsanalyse ergibt, daß die Scheitelwerte der resultierenden Schwinggeschwindigkeit $v_{R,max}$ mit zunehmender Distanz d von der Fahrbahn wie folgt abnehmen

naher Fahrstreifen $v_{R,max} = 0,18 \cdot d^{-0,31}$

entfernter Fahrstreifen $v_{R,max} = 0,08 \cdot d^{-0,34}$

Bei praktisch identischen Distanzexponenten werden am nahen Fahrstreifen von den Schwerverkehrsmitteln mehr als doppelt so große Erschütterungen hervorgerufen wie am anderen. Die Ursache hierfür bildet offensichtlich das unterschiedliche Ausmaß der Fahrbahnebenenheiten, die am näheren Fahrstreifen noch durch Schachtdeckel verstärkt wird. Insgesamt ergibt die Analyse, daß der Untergrund in diesem Bereich nur geringe Dämpfungseigenschaften für Erschütterungen besitzt.

Um die lokalen Ausbreitungsbedingungen der Erschütterungen von der zukünftigen Unterflurtrasse aus zu erfassen, besteht nur die Möglichkeit, in den bestehenden Erkundungsbohrungen Durchschallungsversuche vom Tunnelniveau aus durchzuführen und an der Oberfläche die ankommenden Erschütterungen zu messen. Als Energiequelle für die Durchschallung bieten sich Kleinstsprengungen an, da nur so eine ausreichende Initialerschütterung in einem Bohrloch erzielt werden kann. Überdies besitzen Sprengerschütterungen ein sehr breites Frequenzspektrum, das jenes der Kfz-Erschütterungen auf jeden Fall vollständig umfaßt.

Bei diesen Durchschallungsversuchen wird sowohl die geometrische Divergenz als auch die inelastische Absorption der Erschütterungen entlang jenes Ausbreitungsweges unmittelbar bestimmt, den auch die zukünftigen Verkehrserschütterungen nehmen werden.

Diese Versuche wurden in der Bohrung KB 2 in der Casalgasse durchgeführt.

Für diese Messungen wurden die Seismometer in verschiedenen Entfernungen zum Sprengbohrloch aufgestellt.

In Anhang 19 ist ein Beispiel der digitalen Seismogrammanalyse einschließlich der Frequenzspektren eines Durchschallungsversuchs, aufgenommen in 28 m Entfernung wiedergegeben. fundamente. Etwa die Hälfte der Gebäude besitzt Fertigteildecken. Rund ein Viertel der Häuser ist vor 1920 erbaut worden und/oder weist Kriegsschäden auf.

Für zwei dem Augenschein nach charakteristische Gebäude u.zw. ein altes und ein neues wurden auch die Bauwerkseigenfrequenzen abgeschätzt und die Schwingungseigenschaften (Eigenfrequenzen und Dämpfung) der Deckenkonstruktion gemessen.

Die nach einem Verfahren aus dem Erdbebeningenieurwesen ermittelten Bauwerkseigenfrequenzen sind in Tab.11 angeführt.

Tabelle 11 Gebäudeeigenfrequenzen der untersuchten Objekte

Objekt	Eigenfrequenzen	
Puntigamer Straße 81	11 Hz	12 Hz
Casalgasse 68	5,0 Hz	8,4 Hz

Die Analysenergebnisse der Schwingungseigenschaften der tragenden Decken sind in den Anhängen 22 und 23 wiedergegeben und in Tab.12 zusammengefaßt.

Tabelle 12 Schwingungseigenschaften der tragenden Decken

Objekt	Raum	Eigenfrequenz	krit.Dämpfung
Puntigamer Straße 81	DG, straßenseitiges Zimmer	11 Hz	2,8%
Casalgasse 68	EG, straßenseitiges Zimmer	5,0 Hz	5,3%

Aus den Tab.11 und 12 ergibt sich, daß bei beiden Häusern die untersuchten Gebäude- und Deckeneigenfrequenzen so nahe beieinander liegen, daß Schwingungsanfachung der Decken auftritt. Beim alten Objekt kommt noch hinzu, daß die Deckenkonstruktion nur wenig Dämpfung besitzt.

Wie die einzelnen Häuser oder Bauwerkstrakte hinsichtlich des bauwerksdynamischen Verhaltens eingestuft werden können, ist in Tab.13 statistisch zusammengefaßt. Bei dieser als Orientierungshilfe zu verstehenden Klassifizierung sind die in den Tab.2 und 3 angeführten Kriterien verwendet worden.

Tabelle 13 Prozentuelle Häufigkeitsstatistik der Erschütterungs- und Körperschallanfälligkeit der Wohngebäude im Trassenbereich

Immissionsanfälligkeit	Erschütterungen	Körperschall
hoch	8%	42%
überdurchschnittlich	39%	3%
mittel	42%	42%
unterdurchschnittlich	11%	13%

Insgesamt besitzen somit die betroffenen Wohngebäude vorwiegend mittlere bis überdurchschnittliche Erschütterungs- und hohe und mittlere Körperschallanfälligkeit.

Derzeitiges Verkehrsaufkommen

Die Verkehrsuntersuchung Graz Südost des Ingenieurbüros für Verkehrswesen hat als Planfall 0.0 das Verkehrsaufkommen beim bestehenden Straßennetz für das Jahr 2004 ermittelt. Die Verkehrsströme sind in Anhang 24 wiedergegeben. Für die wichtigsten Straßenzüge im Projektgebiet sind hiezu die Zahlenangaben in Tab.14 zusammengefaßt.

Tabelle 14 Verkehrsaufkommen lt. Planfall 0.0 (Bestands-Straßennetz im Jahr 2004)

Hauptverkehrs-Straßen	Gesamtverkehr ¹ (Kfz/24h)	LKW-Anteil	
		Prozent	LKW/24h
Puntigamer Straße ²	24 200	7	1 690
Murfelderstraße	9 400	3	280
Casalgasse	8 600	3	260
Liebenauer Hauptstraße (stadteinwärts) ³	18 300	8	1 460
Liebenauer Hauptstraße (stadtauswärts) ³	16 700	9	1 500

Anmerkungen: 1 Maximum im Straßenzug 2 östlich der Mur 3 ab Liebenauer Gürtel

Für den LKW-Verkehr ist es typisch, daß untermittags ein sehr gleichmäßiges Verkehrsaufkommen besteht, das in der Nacht deutlich zurückgeht (ca. 80:20 für Tag:Nacht), während bei den PKW's diesem Tag-Nacht-Rhythmus noch eine morgendliche und abendliche Verkehrsspitze überlagert ist.

Erschütterungsimmissionen

Im Wohnbereich sind Erschütterungsimmissionen, die durch den Kfz-Verkehr aber auch durch die normale Hausbenützung hervorgerufen werden, untersucht worden. Um die Erschütterungsursache identifizieren zu können, wurden dabei 2 Meßpunkte simultan erfaßt: zusätzlich zu dem Meßpunkt im Wohnbereich noch ein Meßpunkt am Hausfundament.

An beiden Meßpunkten, die straßenseitig gelegen sind, wurden Langzeitmessungen durchgeführt, bei denen die digitale Seismogrammregistrierung der einzelnen Ereignisse durch Schwellwertüberschreitung ausgelöst wird.

Da bei dieser Form der Aufzeichnung auch sonstige Ereignisse (Erschütterungen infolge Hausbenützung etc.) aufgezeichnet werden, ist es erforderlich, bei der Auswertung die Kfz-Verkehrsseismogramme von denen anderer Immissionsursachen zu unterscheiden. Diese Unterscheidung erfolgt im wesentlichen nach folgenden Methoden:

- Koinzidenzverfahren: durch die simultane seismische Messung am Immissionsmeßpunkt und einem zusätzlichen Meßpunkt am Hausfundament können hauserne und hausinterne Erschütterungsquellen unterschieden werden;
- "Pattern recognition" Methode: Kfz-Erschütterungen werden von anderen Erschütterungen aufgrund spezifischer Unterschiede in Andauer, Frequenzinhalt, Schwingungsbild und Verhalten der drei Komponenten unterschieden.

Die Immissionsmessungen wurden im Haus Puntigamer Straße 81 im Dachgeschoß auf der leerstehenden Tür 6 in einem straßenseitigen Zimmer in Raummitte durchgeführt. Das Haus ist zweigeschoßig, unterkellert und stammt aus der Zeit um 1900. Dem Augenschein nach besitzt der Raum eine Tramdecke.

Es wurden dreieinhalbstündige Immissionsmessungen durchgeführt, aus denen die Verkehrserschütterungen nach dem vorhin beschriebenen Verfahren selektiert worden sind. Insgesamt sind nahezu 700 Erschütterungsereignisse aufgezeichnet worden, von denen die weiter ausgewertet worden sind, die durch den Verkehr verursacht wurden und eine Bewertete Schwingstärke $K_B > 0,1$ erreicht haben.

In Anhang 25 ist eine charakteristische Seismogrammanalyse von den Kfz-Erschütterungen wiedergegeben. Aus dem Seismogramm ist ersichtlich, daß die Erschütterungen zuerst Horizontalschwingungen des Hauses anregen, die dann die Tramdecke zu kräftigen

Vertikalschwingungen veranlassen. Dies ist möglich, da in allen drei Komponenten praktisch dieselbe niederfrequente Erschütterungsfrequenz vorherrschend ist, wie dies nach der baulastdynamischen Untersuchung zu erwarten war.

Die Analysenergebnisse aller Kfz-Erschütterungen sind in Anhang 26 zusammengefaßt. Demnach haben 133 Kfz Erschütterungsmaxima mit einer Bewerteten Schwingstärke $K_{Bmax} > 0,1$ ausgelöst. Da sich aus den Verkehrsdaten von Tab.14 abschätzen läßt, daß während der Meßperiode größenordnungsmäßig knapp 300 LKW's gefahren sind, folgt daraus, daß mit 45% etwa die Hälfte der LKW's fühlbare Erschütterungen ausgelöst haben. Unter Berücksichtigung des derzeitigen Verkehrsaufkommens können aus den Meßergebnissen die in Tab.15 angegebenen Kennwerte der Erschütterungsbeanspruchung durch den Straßenverkehr im Haus Puntigamer Straße 81 nach ÖNORM S 9012 berechnet werden.

Tabelle 15 Beurteilungs-Kennwerte der Erschütterungsimmissionen des LKW-Verkehrs im Haus Puntigamer Straße 81

	Meßergebnis Dachgeschoß	Richtwert für	
		ausreichenden	guten
Erschütterungsschutz			
Immission bei Tag			
Beurteilungsschwingstärke K_r	0,16	0,40	0,20
Einwirkungsdauer ($K_E > 0,1$)	14413 s	14413 s	14413 s
Zahl der LKW's	1352		
Immission bei Nacht			
Beurteilungsschwingstärke K_r	0,16	0,28	0,14
Einwirkungsdauer ($K_E > 0,1$)	3602 s	3602 s	3602 s
Zahl der LKW's	338		

Wie aus obiger Tabelle ersichtlich ist, erreichen die Spitzen der Erschütterungsimmissionen den Wahrnehmungsgrad „gerade spürbar“ nach ÖNORM S 9010. Es ist bei Tag guter und bei Nacht ausreichender Erschütterungsschutz nach ÖNORM S 9012 gegeben.

In baulastdynamischer Hinsicht ist das Haus Puntigamer Straße 81 nach den Angaben von Anhang 21 als überdurchschnittlich erschütterungsanfällig einzustufen. Aus der in diesem Haus gemessenen Beurteilungsschwingstärke kann für alle in Tab.2 angeführten Grade der Erschütterungsanfälligkeit von Gebäuden die Beurteilungsschwingstärke wie in Tab.16 angeführt abgeschätzt werden, wobei die Straßenqualität gleich der in der Puntigamer Straße angenommen wird.

Tabelle 16 Abschätzung der Beurteilungsschwingstärke des LKW-Verkehrs in Häusern unterschiedlicher Erschütterungsanfälligkeit im Untersuchungsraum

Bauwerks-Erschütterungsanfälligkeit	Beurteilungsschwingstärke K_r des LKW-Verkehrs	Häufigkeit im Untersuchungsraum
hoch	0,25	8%
überdurchschnittlich	0,16	39%
mittel	0,11	42%
unterdurchschnittlich	0,08	11%

Da die Erschütterungsschutzkriterien nach ÖNORM S 9012 von der Andauer fühlbarer Erschütterungseinwirkungen abhängt, ist die Immissionsqualität in den verschiedenen Straßenzügen vom Verkehrsaufkommen gem. Tab.14 abhängig. Da bereits aus Tab.15 ersichtlich ist, daß der Nachtzeitraum für die Beurteilung maßgeblich ist, werden in Tab.17 die Erschütterungsschutzrichtwerte nach ÖNORM S 9012 für den Nachtzeitraum für die in Tab.14 angeführten Streckenabschnitte angegeben.

Tabelle 17 ÖNORM-Richtwerte zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen des LKW-Verkehrs bei Nacht für das Verkehrsaufkommen 2004

Straße	Richtwert für		aufsummierte Einwirkungszeit ¹ ($K_B > 0,1$)
	ausreichenden	guten	
	Erschütterungsschutz		
Puntigamer Straße ²	0,28	0,14	3602 s
Murfelderstraße	0,52	0,26	597 s
Casalgasse	0,54	0,27	554 s
Liebenauer Hauptstraße (stadteinwärts) ³	0,28	0,14	3112 s
Liebenauer Hauptstraße (stadtauswärts) ³	0,28	0,14	3197 s

Anmerkungen: 1 Maximum im Straßenzug 2 östlich der Mur 3 ab Liebenauer Gürtel

Der Vergleich mit Tab.16 ergibt somit für den Ist-Zustand (Planfall 0.0), daß in der Murfelderstraße und der Casalgasse guter Erschütterungsschutz gegeben ist, während in den anderen angeführten Abschnitten in Wohngebäuden hoher oder überdurchschnittlicher Erschütterungsanfälligkeit (47%) nur ausreichender Erschütterungsschutz erfüllt wird.

Nullvariante

Bei der Nullvariante (Planfall 0.1) wird auch das zukünftige Verkehrsaufkommen über das bestehende Straßennetz geführt werden. Die Verkehrsströme sind aus Anhang 27 gemäß IBV-Prognose ersichtlich. Das Verkehrsaufkommen wird im Prognosezeitraum gemäß Vorhersage wie in Tab.18 angegeben zunehmen.

Tabelle 18 Verkehrsaufkommen lt. Planfall 0.1 gemäß IBV-Prognose: Bestandsstraßennetz im Bezugsjahr 2015

Straße	Gesamtverkehr ¹ (Kfz/24h)	LKW-Anteil	
		Prozent	LKW/24h
Puntigamer Straße ²	28 900	8	2 310
Murfelderstraße	14 600	3	440
Casalgasse	12 000	3	360
Liebenauer Hauptstraße (stadteinwärts) ³	26 800	8	2 140
Liebenauer Hauptstraße (stadtauswärts) ³	24 400	9	2 200

Anmerkungen: 1 Maximum im Straßenzug 2 östlich der Mur 3 ab Liebenauer Gürtel

Aus diesen Prognosedaten können wiederum die Erschütterungsschutzrichtwerte nach ÖNORM S 9012 für den Nachtzeitraum ermittelt werden, wie in Tab.19 angegeben.

Tabelle 19 ÖNORM-Richtwerte zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen des LKW-Verkehrs bei Nacht für den Planfall 0.1 im Bezugsjahr 2015

Straße	Richtwert für		aufsummierte Einwirkungszeit ¹ (K _E >0,1)	Veränderung zu Planfall 0.0
	ausreichenden	guten		
	Erschütterungsschutz			
Puntigamer Straße ²	0,28	0,14	4 923 s	+37%
Murfelderstraße	0,42	0,21	938 s	+57%
Casalgasse	0,46	0,23	767 s	+39%
Liebenauer Hauptstraße (stadteinwärts) ³	0,28	0,14	4 561 s	+47%
Liebenauer Hauptstraße (stadtauswärts) ³	0,28	0,14	4 689 s	+47%

Anmerkungen: 1 Maximum im Straßenzug 2 östlich der Mur 3 ab Liebenauer Gürtel

Der Vergleich der Richtwerte mit den LKW-Beurteilungsschwingstärken von Tab.16 ergibt für den Planfall 0.1 (Bezugsjahr 2015), daß in der Murfelderstraße und der Casalgasse für Wohngebäude hoher Erschütterungsanfälligkeit und in den anderen angeführten Straßenabschnitten auch in den Wohngebäuden mit überdurchschnittlicher Erschütterungsanfälligkeit nur ausreichender Erschütterungsschutz vorhergesagt wird, während für weniger anfällige Gebäude guter Erschütterungsschutz prognostiziert wird.

Hinsichtlich der Einwirkungsdauer ist generell mit einer Zunahme der Andauer fühlbarer Erschütterungen um durchschnittlich 44% im Vergleich zum Ist-Zustand 2004 zu rechnen.

Ausbauvarianten

Entsprechend der Untersuchung des Ingenieurbüros für Verkehrswesen stehen für das Bezugsjahr 2015 neben der Nullvariante zwei Ausbauvarianten zur Diskussion:

- Planfall 1.1: Ausbaumaßnahmen in der Region, jedoch ohne Bau des Südgürtels
- Planfall 2.1: Ausbaumaßnahmen in der Region einschließlich Bau des Südgürtels

Planfall 1.1

Die Verkehrsströme für diesen Planfall sind aus Anhang 28 gemäß IBV-Prognose ersichtlich. Das Verkehrsaufkommen dieses Planfalls einschließlich des LKW-Anteils ist in Tab.20 angegeben.

Tabelle 20 Verkehrsaufkommen lt. Planfall 1.1 gemäß IBV-Prognose (Straßennetz mit Ausbaumaßnahmen jedoch ohne Südgürtel im Bezugsjahr 2015)

Hauptverkehrs-Straßen	Gesamtverkehr ¹ (Kfz/24h)	LKW-Anteil	
		Prozent	LKW/24h
Puntigamer Straße ²	29 500	8	2 360
Murfelderstraße	14 800	3	440
Casalgasse	12 200	3	370
Liebenauer Hauptstraße (stadteinwärts) ³	24 100	7	1 690
Liebenauer Hauptstraße (stadtauswärts) ³	24 000	9	2 160

Anmerkungen: 1 Maximum im Straßenzug 2 östlich der Mur 3 ab Liebenauer Gürtel

Aus diesen Prognosedaten können wiederum die Erschütterungsschutzrichtwerte nach ÖNORM S 9012 für den Nachtzeitraum ermittelt werden, wie in Tab.21 angegeben.

Tabelle 21 ÖNORM-Richtwerte zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen des LKW-Verkehrs bei Nacht für den Planfall 1.1 im Bezugsjahr 2015

Straße	Richtwert für		aufsummierte Einwirkungszeit ¹ ($K_B > 0,1$)	Veränderung zu Planfall	
	ausreichenden	guten		0.0	0.1
	Erschütterungsschutz				
Puntigamer Straße ²	0,28	0,14	5 030 s	+40%	+2%
Murfelderstraße	0,42	0,21	938 s	+57%	±0%
Casalgasse	0,45	0,23	788 s	+42%	+3%
Liebenauer Hauptstraße (stadteinwärts) ³	0,28	0,14	3 602 s	+16%	-21%
Liebenauer Hauptstraße (stadtauswärts) ³	0,28	0,14	4 604 s	+44%	-2%

Anmerkungen: 1 Maximum im Straßenzug 2 östlich der Mur 3 ab Liebenauer Gürtel

Der Vergleich der Richtwerte mit den LKW-Beurteilungsschwingstärken von Tab.16 ergibt für den Planfall 1.1 (Bezugsjahr 2015), daß in der Murfelderstraße für Wohngebäude hoher Erschütterungsanfälligkeit und in den anderen angeführten Straßenabschnitten auch in den Wohngebäuden mit überdurchschnittlicher Erschütterungsanfälligkeit nur ausreichender Erschütterungsschutz vorhergesagt wird, während für weniger anfällige Gebäude guter Erschütterungsschutz prognostiziert wird.

Hinsichtlich der Einwirkungsdauer ist im Vergleich zum Ist-Zustand 2004 mit einer Zunahme der Andauer fühlbarer Erschütterungen um durchschnittlich 35% im Vergleich zum Planfall 0.1 (Nullvariante 2015) bewirken die Ausbaumaßnahmen im Mittel eine Abnahme der Einwirkungsdauer um 6%.

Planfall 2.1

Für diesen Planfall mit den neu zu errichtenden Rampen und Unterflurabschnitten des Südgürtels werden die Erschütterungsimmissionen unter folgenden Voraussetzungen prognostiziert:

- durchschnittlicher Straßenzustand ohne Unebenheiten im Rollbereich der Räder (Schachtdeckel etc.);
- ausreichende Steifigkeit des Tunnelbauwerks;
- ordnungsgemäße Bauausführung;
- Ablöse folgender Objekte: Puntigamer Straße 77 und 81, Engelsdorfer Straße 19 und 51, Stanglmühlgasse 16 und Liebenauer Hauptstraße 206.

Erläuternd kann zu diesen Voraussetzungen ausgeführt werden, daß die Steifigkeit des Tunnels dann ausreichend ist, wenn verhindert wird, daß er durch die Erschütterungen derart in Schwingungen versetzt wird, daß anstelle der Tunnelsohle – wo die Erschütterungsursache liegt – die Firste der schwingenden Tunnelröhre zur primären Erschütterungsquelle wird und dadurch die Quelledistanz zur Geländeoberfläche um rund 6 m verringert wird. Daß diese Forderung beim Tunnelbau technisch beherrscht werden kann, wurde für Rechteckquerschnitte meßtechnisch mehrfach nachgewiesen. Wie der Querschnitt von Anhang 29 zeigt, werden die Wand- und Deckenstärken mit 65 cm bzw. 80 cm Dicke diese Anforderungen erfüllen.

Hinsichtlich der Bauausführung wird insbesondere vorausgesetzt, daß keine Schwingungsbrücken zwischen dem Tunnel und Anrainergebäuden hergestellt werden, die die Körperschall-übertragung wesentlich verstärken können.

Bezüglich der menschlichen Wahrnehmung ist die Entfernungsabhängigkeit der Bewerteten Schwingstärke zu prognostizieren. Es handelt sich dabei um die Abschätzung der Beurteilungsschwingstärke K_r . Definitionsgemäß müssen die K_B -Maxima einzelner Kfz's dabei die Beurteilungsschwingstärke übersteigen (siehe Abschnitt 2.3.2). Dies bewirkt, daß fühlbare Erschütterungsspitzen in einzelnen Fällen auch in Entfernungen auftreten werden, die größer sind als die Distanz, bei der die Beurteilungsschwingstärke den Betrag $K_r=0,10$ (Fühlschwelle) unterschreitet.

Unter Berücksichtigung der stärkeren Dämpfung der Erschütterungsemissionen bei Tiefenanregung (siehe Abschnitt 3.3.2) ergibt die Vorhersagerechnung für Wohngebäude hoher Erschütterungsanfälligkeit, die unmittelbar an der Tunneltrasse stehen, eine Beurteilungsschwingstärke von $K_r=0,09$. D.h. vom Unterflurabschnitt werden nicht fühlbare Immissionen prognostiziert.

Das Verkehrsaufkommen ist aus Anhang 30 gemäß IBV-Prognose ersichtlich. Die Verkehrsströme dieses Planfalls einschließlich des LKW-Anteils sind in Tab.22 angegeben.

Tabelle 22 Verkehrsaufkommen lt. Planfall 2.1 gemäß IBV-Prognose: Straßennetz mit Südgürtel im Bezugsjahr 2015

Straße	Gesamtverkehr ¹ (Kfz/24h)	LKW-Anteil	
		Prozent	LKW/24h
Puntigamer Straße ²	16 700	5	840
Murfelderstraße	4 100	3	120
Casalgasse	6 800	3	200
Liebenauer Hauptstraße (stadteinwärts) ³	19 800	6	1 190
Liebenauer Hauptstraße (stadtauswärts) ³	25 500	9	2 300
Südgürtel	25 400	8	2 030

Anmerkungen: 1 Maximum im Straßenzug 2 östlich der Mur 3 ab Liebenauer Gürtel

Aus diesen Prognosedaten können wiederum die Erschütterungsschutzrichtwerte nach ÖNORM S 9012 für den Nachtzeitraum ermittelt werden, wie in Tab.23 angegeben.

Tabelle 23 ÖNORM-Richtwerte zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen des LKW-Verkehrs bei Nacht für den Planfall 2.1 im Bezugsjahr 2015

Straße	Richtwert für		aufsummierte Einwirkungszeit ¹ ($K_E > 0,1$)	Veränderung zu Planfall	
	ausreichenden	guten		0.0	0.1
	Erschütterungsschutz				
Puntigamer Straße ²	0,30	0,15	1 790 s	-50%	-64%
Murfelderstraße	0,60	0,30	256 s	-57%	-73%
Casalgasse	0,60	0,30	426 s	-23%	-44%
Liebenauer Hauptstraße (stadteinwärts) ²	0,28	0,14	2 536 s	-18%	-44%
Liebenauer Hauptstraße (stadtauswärts) ³	0,28	0,14	4 604 s	+44%	-2%
Südgürtel	0,60	0,30	0 s	-	-

Anmerkungen: 1 Maximum im Straßenzug 2 östlich der Mur 3 ab Liebenauer Gürtel

Der Vergleich der Richtwerte von Tab.23 mit den LKW-Beurteilungsschwingstärken ergibt, daß beim Südgürtel, der Murfelderstraße und der Casalgasse generell guter Erschütterungsschutz vorhergesagt wird. Bei den anderen angeführten Straßenabschnitten wird für Wohngebäude hoher oder überdurchschnittlicher Erschütterungsanfälligkeit nur ausreichender Erschütterungsschutz prognostiziert, für weniger anfällige Gebäude aber ebenfalls guter Erschütterungsschutz.

Hinsichtlich der Einwirkungszeit ist im Vergleich zum Ist-Zustand 2004 mit einer Abnahme um durchschnittlich 13% zu rechnen. Im Vergleich zum Planfall 0.1 (Nullvariante 2015) wird durch den Südgürtel im Mittel eine Abnahme der Einwirkungszeit um 39% erreicht werden.

Während von Straßen im Freien direkte Schallimmissionen ausgehen, die dann von Akustikern untersucht werden, treten im Tunnelbereich Körperschallimmissionen auf, die infolge ihrer seismischen Übertragung durch den Untergrund ebenfalls hier zu behandeln sind. Diese sind gemäß Abschnitt 2.2.3 nach den Pegelspitzen der einzelnen LKW's zu bewerten.

Die Vorhersage der zu erwartenden Körperschallimmissionen für den Tunnelbereich erfolgt nach einem mehrteiligen Berechnungsverfahren, das durch die Berücksichtigung der Frequenzspektren über das Verfahren zur Erschütterungsvorhersage hinausgeht.

- a) Grundlage bildet der Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit in der Vertikalkomponente der LKW-Erschütterungen auf der Decke eines Wohnraumes.
- b) Bestimmung dieses Effektivwertes der Vertikalkomponente der Erschütterungen des Straßenverkehrs in einem Haus unmittelbar an der derzeitigen Strecke bei möglichst vergleichbaren Bedingungen.
- c) Hochrechnung auf die Entfernung zu den Anrainern nach der für die Neubaustrecke ermittelten Schwinggeschwindigkeits-Entfernungsbeziehung wiederum auf das erste Obergeschoß in einem Wohn-/Schlaf- bzw. Aufenthaltsraum.
- d) Umrechnung der FFT-Analyse der LKW-Erschütterungen auf Terzbänder mit 10 bis 160 Hz Mittenfrequenz.
- e) Annahme des Abstrahlfaktors 1 (ungünstigster Fall) und Berechnung des A-bewerteten Luftschallpegels im Raum.

Aus der ausgeprägten Frequenzabhängigkeit der A-Bewertungskurve des Schallpegels (Anhang 2) folgt, daß die Form des Frequenzspektrums der Erschütterungsimmissionen das Hörempfinden des Körperschalls entscheidend beeinflusst. Es müssen daher von der Erschütterungsanregung angefangen auch die Auswirkungen der dynamischen Untergrund- und Bauwerkseigenschaften auf den Spektrenaufbau soweit als möglich berücksichtigt werden. Die für die Körperschallprognose verwendeten Frequenzspektren der LKW-Erschütterungen müssen daher unter Bauwerks- und Untergrundbedingungen erfaßt werden, die für den Tunnel so typisch als möglich sind.

Die Körperschallanalyse der Immissionsseismogramme ergibt unter den eingangs genannten Voraussetzungen mittlere A-bewertete Maximalpegel von 15 dB(A).

Demnach sind mittlere Maximalpegel – je nach Deckenausführung der Wohnraumböden – höchstens im Bereich des Grundgeräuschpegels, der gemäß ÖNORM B 8115-2 mit 15 dB(A) in der Nacht in geschlossenen Räumen anzusetzen ist, vorherzusagen und somit nicht hörbar. Für die sekundären Schallimmissionen ist somit guter Schallschutz gemäß ÖNORM S 9012 gegeben.

Diese immissionsmäßig positive Situation kann sich allerdings dort deutlich verschlechtern, wo Schwingungsbrücken zwischen einem Wohngebäude und dem Tunnel während des Baus geschaffen werden. Dies ist gemäß Lageplan insbesondere bei den Häusern Casalgasse 67 und 68, Engelsdorfer Straße 3 und 18 als kritisch anzusehen, da diese Objekte unmittelbar an den Tunnel anschließend bestehen bleiben. Bei den Objekten Casalgasse 68 und Engelsdorfer Straße 18 besteht die Möglichkeit, daß im Falle baubedingter Schwingungsbrücken bei ungünstiger Ausführung der tragenden Decken mittlere Maximalpegel des Körperschalls bis zu 38 dB(A) auftreten. Dies ergäbe sekundäre Schallimmissionen, die die Kriterien ausreichenden Schallschutzes nach ÖNORM S 9012 nicht erfüllen. In Anhang 31 sind die berechneten Terzspektren für beide Fälle wiedergegeben.

Um baubedingte Schwingungsbrücken sicher zu vermeiden, ist daher eine Trennung des Tunnelbauwerks von den Hausfundamenten durch Zwischenschaltung von elastischen Dämmmatten in den in Tab.24 angegebenen Abschnitten vorzusehen.

Tabelle 24 Abschnitte mit Immissionsschutzmaßnahmen beim Südgürtel

Unterflurabschnitt	Schutzobjekt	Tunnelseite
km 0,555-0,575	Casalgasse 68	Nord
km 0,560-0,580	Casalgasse 67	Süd
km 0,915-0,940	Engelsdorfer Straße 18	Süd

Die Dämmmatten sind jeweils an der angegebenen Tunnelaußenseite und 5 m auf der Tunneldecke vorzusehen. Als Produktbeispiel können frequenzmäßig entsprechend abgestimmte Sylomer Platten der Fa. Getzner genannt werden.

Hinsichtlich des Gebäudeschutzes wird für die nächstgelegenen Objekte eine maximale resultierende Schwinggeschwindigkeit von $v_{R,max} = 0,3$ mm/s infolge des Kfz-Verkehrs vorhergesagt. Dieser Betrag liegt weit unter dem zulässigen Richtwert nach ÖNORM S 9020 und ist somit für Bauwerke unbedenklich.

— Baustellenerschütterungen

Im Zuge der Bauarbeiten werden verschiedenartigste Arbeitsvorgänge Erschütterungsemissionen auslösen. Dem derzeitigen Planungsstand entsprechend ist aber nicht absehbar, in welcher Form die Bauarbeiten ausgeführt werden bzw. welche Maschinen dazu eingesetzt werden sollen.

Im Sinne von Abschnitt 2.3.4 sind die nachfolgend angeführten Erschütterungsrichtwerte einzuhalten, wobei zwischen impulsförmigen Erschütterungen (z.B. Bagger) und länger andauernden Erschütterungen (z.B. Vibrowalzen) zu unterscheiden ist. Dementsprechend gelten bei Bauarbeiten die in Tab.25 angegebenen Maximalwerte der resultierenden Schwinggeschwindigkeit als Grenzwerte für die verschiedenen Gebäudeklassen nach ÖNORM S 9020, die die Belastbarkeit eines Bauwerks durch Erschütterungen charakterisieren.

Tabelle 25 Richtwerte der zulässigen maximalen resultierenden Schwinggeschwindigkeit im Fundamentbereich von Bauwerken zum Gebäudeschutz bei Bauarbeiten

Gebäudeklasse nach ÖNORM S 9020	Erschütterungseinwirkung	
	impulsförmig	länger andauernd
I	30 mm/s	12 mm/s
II	20 mm/s	8 mm/s
III	10 mm/s	4 mm/s
IV	5 mm/s	2 mm/s

Diese Richtwerte gemäß ÖNORM S 9020 sollen in den Ausschreibungs- bzw. den technischen Vertragsbedingungen mit den Bauunternehmen mit aufgenommen werden. Die Zuordnung der

Anrainergebäude zu den Gebäudeklassen nach ÖNORM S 9020 sind in Anhang 32 wiedergegeben.

Gewisse Schwierigkeiten bei der Zuordnung zu einer Gebäudeklasse bereiten die größeren Glashäuser entlang der Trasse, da Glas einerseits empfindlich auf Spannungsbelastungen reagiert und andererseits bei Bewegung infolge seiner hohen Dichte relativ große Kräfte auftreten. Der Zustand der Verglasung ist in jedem Einzelfall deshalb sorgfältig vor Baubeginn zu prüfen. Im allgemeinen wird eine Zuordnung zur Gebäudeklasse III zweckmäßig sein.

Maschinenauswahl

Bei der Auswahl der Bauverfahren sind die durch sie hervorgerufenen Erschütterungen zu berücksichtigen.

Grundsätzlich sind alle Baumaschinen, die Erschütterungen hervorrufen zuerst in größerer Entfernung von Gebäuden einzusetzen (siehe auch Tab.26) und auf ihre Erschütterungswirkung hin zu überprüfen. Dabei sind für jede Maschine spezifische Grenzentfernungen festzulegen, außerhalb derer die Erschütterungsgrenzwerte nach Tab.25 sicher eingehalten werden.

Die Arbeitsfrequenzen aller Maschinen sollen soweit als möglich nicht mit den Untergrund-Eigenfrequenzen (siehe Anhang 16) zusammenfallen, wobei in Hinblick auf die Breitbandigkeit der Eigenfrequenzspektren Kompromisse unvermeidlich sind.

Für alle Bauarbeiten ist selbstverständlich die Einhaltung der Erschütterungsrichtwerte die letztgültige Leitlinie.

Erschütterungsüberwachung

Vor Beginn der Bauarbeiten sind alle Gebäude in einem ausreichend breiten Streifen (etwa 50 m beiderseits der Trasse) von einem Fachmann hinsichtlich Gebäudezustand und bestehender Bauschäden genau aufzunehmen (Rißkartierung). Im Falle besonderer Gründe (Bauzustand, Denkmalschutz, aber auch Anrainerwünsche etc.) ist diese Risskartierung auch bei Gebäuden in größeren Distanzen zweckmäßig.

Zum Nachweis der Einhaltung der Richtwerte von Tab.25 während der Bauarbeiten ist eine Beweissicherung durch Erschütterungsmessungen erforderlich, insbesondere wenn die in Tab.26 angegebenen Unbedenklichkeitsbereiche unterschritten werden. Sie haben im Fundamentbereich eines nahegelegenen Gebäudes zu erfolgen. Die ÖNORMEN S 9001 und S 9020 sind dabei sinngemäß anzuwenden.

Typische Baustellenerschütterungen

Im folgenden werden einige Bauarbeiten diskutiert, deren Erschütterungen fallweise Probleme bereiten können und die gegebenenfalls auch bei diesem Bauvorhaben eingesetzt werden können.

Beim Schlitzwandverfahren wird mit einem Greifer von 17-21 t Masse ein ca. 0,6-1,0 m breiter Schlitz von 3-4,2 m Länge, der maximal 50 m tief sein kann, in einem Arbeitsgang geschaffen. Der Greifer wird dabei etwa alle 3 Minuten abgesetzt und mit einer Schließkraft von 1000 kN geschlossen, wobei dieser Vorgang infolge der 7fachen Übersetzung als Scheren und nicht als Meisseln bezeichnet werden muß. In einer 8-Stunden Schicht sind somit ca. 160 Arbeitsvorgänge eines Baggers möglich. In weichem Material reicht 3maliges Greifen je Meter Schlitzwandtiefe, in hartem Material kann auch 20maliges Greifen erforderlich werden. Die Geschwindigkeit des Aushubs bewegt sich somit im Bereich von 1-7 m/h. Die durch den Schlitzwandbagger ausgelösten Erschütterungen sind als impulsförmig zu charakterisieren, wobei in weichem Material Frequenzen von 7-14 Hz dominieren, die in hartem Material beträchtlich ansteigen werden.

Bei derartigen Schlitzwandarbeiten wurden in 13 m Horizontalentfernung maximale resultierende Schwinggeschwindigkeiten von $v_{R,max} = 4,3$ mm/s registriert.

Das Bohlensetzen erfolgt meistens mit einer Vibrationsramme, wobei der Rammhammer maximale Arbeitsfrequenzen von 40-50 Hz erreicht. In 5,5 m Distanz sind beim Schlagen derartiger Bohlen maximale resultierende Schwinggeschwindigkeiten bis zu $v_{R,max} = 16,1$ mm/s beobachtet worden.

Der Aushub eines Bohrpfahls erfolgt mit Hilfe eines Greifers, der geöffnet in einem Rohr fallen gelassen wird und nach dem Aufschlag und Schließen des Greifers mit dem Aushubmaterial herausgezogen wird. Gleichzeitig wird das Rohr durch hydraulische Drehbewegungen entsprechend dem erzielten Aushub abgesenkt. Dieser Arbeitsvorgang wiederholt sich je nach der erzielten Aushubtiefe in Abständen von etwa 30 Sekunden aufwärts. In durchschnittlichem Material sind pro Stunde etwa 4 m Aushub zu erzielen. Dabei sind je Laufmeter etwa 30 Aushubvorgänge erforderlich.

In 13,5 m Entfernung sind dabei maximale resultierende Schwinggeschwindigkeiten von $v_{R,max} = 1,7$ mm/s beobachtet worden.

Falls beim Bohrpfahl-Aushub oder bei der Schlitzwandherstellung der Untergrund für den Greifer zu hart wird (z.B. alte Mauerteile), wird ein Meissel von 7,5 t Gewicht statt des Greifers in das Rohr bzw. den Schlitz fallen gelassen, um das Material zu lösen. Je nach Fallhöhe sind dabei in 10,5 m Distanz maximale resultierende Schwinggeschwindigkeiten von $v_{R,max} = 38$ mm/s gemessen worden.

Verschiedentlich ist es zweckmäßig, Rohre unterschiedlichsten Durchmessers ohne Aufgrabungsarbeiten (Unterquerung von Straßen, Bauwerksteilen etc.) zu verlegen. Dieser auch als Mikro-Tunneling bezeichnete Rohrvortrieb erfolgt mit verschiedenen Vortriebsverfahren. Mit einem Rammhärvortrieb (Grundoram-Verfahren) sind maximale resultierende Schwinggeschwindigkeiten von 2,8 mm/s in 13 m Distanz gemessen worden.

Für Verdichtungsarbeiten werden auf Baustellen vorwiegend Vibrationswalzen eingesetzt, die sich in Erregerkraft, Erregerfrequenz und Nennamplitude mit großen Bandbreiten unterscheiden können. Jedenfalls sind Erregerkräfte von 80-170 kN häufig als üblich anzusehen. Die Erregerfrequenzen liegen oft im Bereich von 28-40 Hz. In 4,5 m Distanz sind maximale resultierende Schwinggeschwindigkeiten von 3,9 mm/s bei 172 kN Anregung bzw. 1,4 mm/s bei 105 kN Anregung gemessen worden, wobei keine Resonanz auftrat.

Beim Ausbau von Baugrubenankern nach der VSL-Schockmethode wird im Verpreßkörper auf Haftlänge eine detonierende Sprengschnur mit 20 g/lfm zur Explosion gebracht. Dabei sind an Gebädefundamenten in 5 m Distanz maximale resultierende Schwinggeschwindigkeiten von 9,1 mm/s gemessen worden.

Ausbreitung von Baustellenerschütterungen

In Anhang 33 sind unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Ausbreitungsverhältnisse (siehe Abschnitt 3.3) charakteristische Erschütterungs-Distanz Profile für verschiedene Baustellenarbeiten wiedergegeben. Diesen Profilen kommt selbstverständlich nur Richtwertcharakter zu, da erst mit den tatsächlich zum Einsatz kommenden Maschinen die realen Immissionen erfaßt werden können.

Meisseln, Bohlen-Setzen und Rohrvortrieb gehören zu den Tätigkeiten, die unter den gegebenen geologischen Verhältnissen besonders starke Erschütterungen auslösen. Bei Annäherung an ein Gebäude ist dann Vorsicht geboten, wenn die in Tab.26 angegebenen Entfernungen unterschritten werden. Erst ab diesen Entfernungen besteht zunehmend die Möglichkeit einer Grenzwertüberschreitung. Bei größeren Distanzen hingegen sind die jeweiligen Arbeitsvorgänge aller Voraussicht nach erschütterungsmäßig unbedenklich.

Tabelle 26 Unbedenklichkeitsbereiche für Bauarbeiten aus der Sicht des Erschütterungsschutzes

Arbeitsvorgang	Distanz
Meisseln	> 130 m
Schlitzwand-Aushub	> 22 m
Bohlen-Setzen	> 71 m
Rohrvortrieb	> 34 m
Bohrpfahl-Aushub	> 5 m
Vibro-Walzen	>16 m
VSL-Ankerabau	> 17 m

Die Distanzangaben der Tabelle beziehen sich ausschließlich auf das erschütterungsmäßige Gefährdungspotential durch Bauarbeiten. Andere potentielle Schadensmechanismen wie etwa Setzungsvorgänge sind von zuständiger Seite zu beurteilen.

— Verminderung der Baustellenerschütterungen

Geeignete Maßnahmen zur Reduktion der Erschütterungen von Bauarbeiten sind:

- Verwendung von Baumaschinen, deren Arbeitsfrequenz möglichst weit von den vorhandenen geo- und bauwerksdynamischen Eigenfrequenzen entfernt ist.
- Bohlen setzen möglichst in einem Arbeitsgang durchführen, um häufigeres Durchfahren des Frequenzbereichs bis zur Arbeitsfrequenz zu vermeiden (Vermeidung von Anfahrresonanzen); Einsatz von Spülverfahren; nur ein Gerät gleichzeitig betreiben.
- Bohrpfahlaushub erforderlichenfalls auf Rollmeissel umstellen.
- Schlitzwandaushub erforderlichenfalls auf Fräsen umstellen.
- Meisselarbeiten beim Aushub, wenn möglich mit leichterem Fallmeissel (z.B. 4,5 t statt 7,5 t) durchführen.
- Verdichtungsarbeiten im Nahbereich schwingungsanfälliger Gebäude nicht mit Vibrowalzen sondern mit statischen Walzen durchführen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Bauarbeiten bei entsprechender - an sich selbstverständlicher - Sorgfalt ohne Gefährdung der benachbarten Gebäude durchgeführt werden können. Um im Anlaßfall aber Beweismittel zu haben, sind entsprechende Beweissicherungen (Rißkartierungen vor Baubeginn, Erschütterungsmessungen während der Bauarbeiten) erforderlich. Dies ist auch deshalb notwendig, weil die Erschütterungen der Bauarbeiten in einem wesentlich weiter ausgedehnten Bereich spürbar sein werden als die derzeitigen Verkehrserschütterungen, wie aus Anhang 33 im Vergleich mit Anhang 18 ersichtlich ist.

Beurteilung

Ermittlung der Immissionsbelastung Ist-Zustand

- keine (1): keine wahrnehmbaren Erschütterungsimmissionen
- gering (2): guter Erschütterungsschutz nach ÖNORM S 9012
- mittel (3): ausreichender Erschütterungsschutz nach ÖNORM S 9012
- hoch (4): nicht ausreichender Erschütterungsschutz nach ÖNORM S 9012

Darstellung der Eingriffsintensität

keine (1): erschütterungsmäßig nicht relevante Eingriffe und Eingriffe mit Dämmwirkungseffekt
 merklich (2): Eingriffe, die die Immissionsbelastung vom Ist-Zustand um einen Skalengrad verschlechtern
 mittel (3): Eingriffe, die die Immissionsbelastung vom Ist-Zustand um zwei Skalengrade verschlechtern
 sehr hoch (4): Eingriffe, die die Immissionsbelastung vom Ist-Zustand um drei Skalengrade verschlechtern

Wirksamkeit von Massnahmen

keine (0): Erschütterungswahrnehmung wird nicht vermindert oder nur unmerklich beeinflusst
 gering (1): Andauer und/oder Stärke der Erschütterungswahrnehmung werden um wenigstens 25% vermindert
 mittel (2): Andauer und/oder Stärke der Erschütterungswahrnehmung werden um wenigstens 40% vermindert
 hoch (3): Andauer und/oder Stärke der Erschütterungswahrnehmung werden um wenigstens 60% vermindert
 sehr hoch (5): Andauer und/oder Stärke der Erschütterungswahrnehmung werden um wenigstens 70% vermindert oder die Entstehung wird vermieden

Tabelle 27 Beurteilung der Restbelastung

Restbelastung	Zahlenwert	UVE-Definition	Verträglichkeit
keine	≤0	Verbesserung	verträglich
sehr gering	1	nicht relevant	verträglich
gering	2	geringfügig	verträglich
mittel	3	wesentlich	verträglich
hoch	4	teils untragbar	unverträglich
sehr hoch	5	untragbar	unverträglich

Im Vergleich zum Ist-Zustand 2004 ergibt sich folgende Bewertung:

Tabelle 28 Beurteilung des Planfalls 0.0 (Ist-Zustand 2004)

Nr.	Teilabschnitt	Planfall 0.0	Eingriffsintensität	Auswirkung	Maßnahmenwirksamkeit	Restbelastung
1	Puntigamer Straße	3	1	2	2	0
2	Murfelderstraße	2	1	1,5	2	-0,5
3	Casalgasse	2	1	1,5	0	1,5
4	Liebenauer Hauptstraße stadteinwärts	3	1	2	0	2
5	Liebenauer Hauptstraße stadtauswärts	3	1	2	0	2
6	Südgürtel	1	1	1	5	-4
	Mittelwert	2,33	1	1,67	1,50	0,17

Da sich aber auch bei der unveränderten Beibehaltung des derzeitigen Straßennetzes (Ist-Zustand 2004) das Verkehrsaufkommen entsprechend der Verkehrsuntersuchung bis zum Prognosejahr 2015 verändern wird, ist auch die Nullvariante 2015 zu untersuchen. Im Vergleich zur Nullvariante (Ist-Zustand 2015) ergibt sich folgende Bewertung:

Tabelle 29 Beurteilung des Planfalls 0.1 (Nullvariante 2015)

Nr.	Teilabschnitt	Planfall 0.1	Eingriffsintensität	Auswirkung	Maßnahmenwirksamkeit	Restbelastung
1	Puntigamer Straße	3	1	2	3	-1
2	Murfelderstraße	2	1	1,5	5	-3,5
3	Casalgasse	2	1	1,5	2	-0,5
4	Liebenauer Hauptstraße stadteinwärts	3	1	2	2	0
5	Liebenauer Hauptstraße stadtauswärts	3	1	2	0	2
6	Südgürtel	1	1	1	5	-4
	Mittelwert	2,33	1	1,67	2,83	-1,17

Gemäß der in Abschnitt 7.1.5 angegebenen Beurteilung der Restbelastung ergibt sich somit hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen keine Verschlechterung (Ist-Zustand 2004) bzw. eine Verbesserung (Nullvariante 2015) der Belastungssituation, weshalb das Projekt des Südgürtels als umweltverträglich zu beurteilen ist.

Diese Beurteilung stimmt mit der Aussage von Tab.23 überein, wonach infolge der Verlagerung des Verkehrsaufkommens die Andauer fühlbarer Erschütterungsimmissionen mit Ausnahme des 5. Teilabschnitts überall abnimmt, wobei das Niveau der Erschütterungsimmissionen unverändert bleibt.

Der Vollständigkeit halber werden die hierfür ausschlaggebenden bautechnischen Maßnahmen nochmals zusammengefaßt:

- 1) Unterflurführung des Südgürtels;
- 2) Erforderliche Steifigkeit der Tunnelwände und -decke;
- 3) Glatte Fahrbahnoberfläche, die Schachtdeckel, Abdeckplatten, Wasserabläufe und andere Störstellen im Rollbereich der Räder vermeidet;
- 4) Vorbeugender Einbau elastischer Dämmplatten gegen Schwingungsbrücken zwischen Tunnel und kritisch gelegenen Wohngebäuden in den hierfür kritischen Bereichen (siehe Tab.24).

Aus der Sicht des Erschütterungsschutzes bildet das Projekt des Südgürtels eine immissionsmindernde Maßnahme, die die Erschütterungsbelastung der Bevölkerung in bemerkenswert hohem Ausmaß vermindern wird.

Auflagen:

- Hinsichtlich der Erschütterungs- und Körperschallimmissionen sind nach Fertigstellung des Bauvorhabens Kontrollmessungen im Trassenbereich vorzuschlagen.

Einwendungen:

Dr. Friedl:

Die Einwendungen hinsichtlich der Ausführung der Tunnelzufahrt wurden in der UVE behandelt. Eine Notwendigkeit für eine Überbauung ist nicht ersichtlich.

Umweltbundesamt:

Die Fachbeiträge Schall/Erschütterung wurden um die Bauphase ergänzt. Die Richtwerte wurden zwar abgeleitet, sind aber unerheblich, da das Beurteilungsmaß durch den humanmedizinischen ASV festzulegen ist.

Aus gutachterlicher Sicht wurde der Untersuchungsraum hinreichend groß gewählt.

Umweltanwaltschaft:

Die Fachbeiträge Schall/Erschütterung wurden um die Bauphase ergänzt.

Lorentsichitsch, Sulzbacher, Holzer, Pistotnig, Reischl, BI Mensch statt Beton,

Die Fachbeiträge Schall/Erschütterung wurden um die Bauphase ergänzt. Ein Bauphasenplan liegt vor.

—
Kleinhappel Ingrid:

Die Immissionen während der Bauphase sind beurteilt worden.

Purgstaller:

Die durch das Projekt zu erwartenden Immissionen (Schall, Erschütterungen) wurden erarbeitet; die Auswirkungen auf die Schutzgüter sind durch die entsprechenden SV darzustellen.

Bergthaler:

Die durch das Projekt zu erwartenden Immissionen (Schall, Erschütterungen) wurden erarbeitet; die Auswirkungen auf die Schutzgüter sind durch die entsprechenden SV darzustellen.

Schweighofer:

Die durch das Projekt zu erwartenden Immissionen (Schall, Erschütterungen) wurden erarbeitet; die Auswirkungen auf die Schutzgüter sind durch die entsprechenden SV darzustellen.

Tiefengraber:

Die durch das Projekt zu erwartenden Immissionen (Schall, Erschütterungen) wurden erarbeitet; die Auswirkungen auf die Schutzgüter sind durch die entsprechenden SV darzustellen.

Mayr, Rögner:

Die durch das Projekt zu erwartenden Immissionen (Schall, Erschütterungen) wurden erarbeitet; die Auswirkungen auf die Schutzgüter sind durch die entsprechenden SV darzustellen.

ARGE Luft-Lärm:

Die durch das Projekt zu erwartenden Immissionen (Schall, Erschütterungen) wurden erarbeitet; die Auswirkungen auf die Schutzgüter sind durch die entsprechenden SV darzustellen.

Die Umgebungslärmrichtlinie ist im Genehmigungsverfahren nicht anzuwenden.

Prassl/Prassl:

Die durch das Projekt zu erwartenden Immissionen (Schall, Erschütterungen) wurden erarbeitet; die Auswirkungen auf die Schutzgüter sind durch die entsprechenden SV darzustellen.

Mit freundlichen Grüßen

—
Der schall- und erschütterungstechnische ASV:

i.V.

(Ing. Christian Lammer eh)

Unterschrift am Original im Akt