



Leitfaden Strassenlärm - Vollzugshilfe für die Sanierung – Stand: Dezember 2006

Anhang 4c

Version: 18.12.2007

> Benutzer-Handbuch für WT-Excel-Tool UV-0637

Berechnungsmodul zur Ermittlung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen nach Schriftreihe Umwelt Nr. 310 und UV-0609 unter Berücksichtigung der Grundsätze nach UV-0637 Anhang 4a und 4b.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Lärmbekämpfung

18. Dezember 2007
BAFU, Abt. Lärmbekämpfung, 3003 Bern

Berechnungsmodul zur UV- 0637 Anhang 4:
Ermittlung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit
von Lärmschutzmassnahmen nach UV-0637

Benutzerhandbuch

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor

Grolimund & Partner AG, Bern: Toni Ziegler, Andreas Schluep

Email: bern@grolimund-partner.ch

T/F: 031 356 20 00/01

Begleitung BAFU

Gregor Schguanin, Abt. Lärmbekämpfung (BAFU)

Downloads

<http://www.umwelt-schweiz.ch/publikationen> -> Lärm

(eine gedruckte Fassung des vorliegenden Dokumentes ist nicht erhältlich)

© BAFU 2007

Inhalt	Seite
1. Aufbau und Anwendung des Handbuchs	4
2. Grundsätze zur Anwendung des Berechnungsmoduls	6
3. Eingabe der Lärmbelastungen	7
3.1 Allgemeine Angaben zum Projekt	7
3.2 Eingabe der Lärmbelastung pro Berechnungspunkt	7
4. Eingabe der Kosten	10
5. Detailberechnung WTI (Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit)	11
6. Detailberechnung Wlstr (Wirkungs-Index-Strasse)	13
7. Resultate und Bericht	14
 Beilagen	
1 Beilageblatt zum Berechnungsmodul mit Standarddaten	
2 Grundlagen	
3 Berechnungsbeispiel	
4 Abkürzungen	

1. Aufbau und Anwendung des Handbuchs

Mit dem hier beschriebenen Exceltool (UV-0637 Anhang 4) kann die wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen nach der Methode Schriftenreihe Umwelt Nr. 301 (BAFU) respektive UV-0609 bei Lärmsanierungsprojekten (LSP) unter Anwendung der Grundsätze nach Anhang 4a des Leitfadens Strassenlärm (UV-0637) ermittelt und beurteilt werden. Die Kostengrundlagen sind in einem separaten Dokument im Anhang 4b des Leitfadens publiziert.

Da bei der Ausarbeitung der Lärmsanierungsprojekte die Lärmbelastungen mit geeigneten Berechnungsprogrammen mindestens gebäudescharf ermittelt werden, soll die Methode nach SRU-301 basierend auf diesen präziseren Grundlagen angewendet werden.

Die wirtschaftliche Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen kann mit diesem Berechnungsmodul auf Basis Immissionstabellen einzelner Objekte oder Geschosse und der präzisen Massnahmenwirkung ermittelt werden.

Das neue Berechnungsmodul ist entsprechend den folgenden Arbeitsschritten in verschiedene Arbeitsblätter eingeteilt:

- ▫ Lärmbelastungen : Eingabe der Lärmbelastungen ohne und mit den geplanten Massnahmen für einzelne Gebäude oder Geschosse
- ▫ Kosten : Eingabe der lärmbezogenen Kosten für die geplanten Lärmschutzmassnahmen und automatische Umrechnung in Jahreskosten
- ▫ Bericht : Zusammenfassung der Ergebnisse zur Massnahmenwirkung und zur Berechnung der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WT)
- ▫ Details WTI : Detailtabelle für die Berechnung der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Effektivität, Effizienz)
- ▫ Details WI : Detailtabelle für die Berechnung des Wirkungs-Index-Strasse (WIstr) für die Umfrage zum Stand der Lärmsanierung bei Strassen nach LSV Art. 20 (optional).

Nachfolgend werden die Grundlagen sowie deren Anwendung beschrieben:

Kapitel 3-7: Dateneingabe und Benutzerhinweise

Beilage 1: Beilageblatt zum Berechnungsmodul mit Standarddaten

Beilage 2: Grundlagen (Formeln und Tabellen)

Beilage 3: Berechnungsbeispiel

Beilage 4: Abkürzungsverzeichnis

Folgende allgemeine Regeln sind bei der Dateneingabe zu beachten:

- Daten dürfen nur in den dafür vorgesehenen gelben Zellen eingegeben werden. Werden geschützte Zellen verändert, die eine Formel enthalten, sind falsche Resultate möglich.
- Grundsätzlich ist der Projektperimeter so zu wählen, dass bei bestehenden Anlagen alle Objekte enthalten sind, die in einer untersuchten Variante den Immissionsgrenzwert (IGW) - 5 dBA, resp. bei Neuanlagen den Planungswert (PW) - 5 dBA überschreiten.
- Jedes betroffene Gebäude muss mindestens einen Berechnungspunkt (BP) aufweisen. Es können jedoch beliebig viele BP pro Gebäude eingegeben werden (z.B. pro Geschoss). Pro BP wird im Berechnungsmodul jeweils eine Zeile eingegeben. Werden mehr Zeilen benötigt als vorhanden sind, können zusätzliche Zeilen eingefügt werden. Mit den beiden Befehlsschaltflächen "neue Zeile einfügen" und "letzte Zeile löschen" kann die Anzahl Zeilen in der Tabelle im Arbeitsblatt "Lärmbelastungen" angepasst werden. Die Tabellen im Bericht und in den Detailtabellen werden automatisch ergänzt.

Im nachfolgenden Kapitel wird erläutert, wie und wo die Eingaben vorzunehmen sind. Die Bedeutung der Rechenschritte wird erläutert, die Grundlagen dazu sind in der Beilage 2 enthalten.

Die Randspalte gibt Hinweise zum Berechnungsblatt und zur betreffenden Zelle, Zeile oder Spalte in der Tabelle.

2. Grundsätze zur Anwendung des Berechnungsmoduls

Die wesentliche generellen Grundsätze zur Anwendung der Methode sind im Anhang 4a des Leitfadens Strassenlärm beschrieben und dokumentiert. Im

Grundsätze in UV-0637 Anhang 4a

Gemäss Leitfaden Strassenlärm (UV-0637) sind die Kennzahlen zur wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit für sämtliche Lärmschutzmassnahmen mit Kosten ab Fr. 500'000.- zu ermitteln. Für kleinere Projekte reicht für die Beurteilung der Verhältnismässigkeit und Kostenwirksamkeit die Ermittlung der Maximalkostenbetrachtung über den Kosten-Nutzen-Faktor KNF (Fr. 5'000.- pro dBA Massnahmenwirkung und Einwohner). Der Einsatz der nachstehend beschriebenen Methode ist in diesen Fällen nicht zwingend erforderlich.

**Beurteilung von Projekten
≥ Fr. 500'000.-**

Die wesentlichen Kennzahlen und Kostengrundlagen sind im Anhang 4b des Leitfadens Strassenlärm beschrieben und dokumentiert.

**Kostengrundlagen
in UV-0637 Anhang 4b**

Wird ein Projekt mit der hier beschriebenen Instrument untersucht, muss zu erst festgelegt werden, ob es sich beim Projekt um eine bestehende Anlage oder um eine Neuanlage handelt.

Bestehende Anlage / Neuanlage

Bei bestehenden Anlagen steht folgendes Berechnungsmodul zu Verfügung:

„WT UV-0637 bestehende Anlagen.xlt“

Bei Neuanlagen ist das nachfolgende Berechnungsmodul zu verwenden:

„WT UV-0637 neue Anlagen.xlt“

Bei der Dateneingabe im Berechnungsmodul wird folgendes Vorgehen empfohlen:

**Vorgehen bei der
Dateneingabe im
Berechnungs-
modul**

Schritt	Arbeitsblatt im Berechnungsmodul	Kapitel im Handbuch
A Eingabe der Lärmbelastungen	Lärmbelastungen	3
B Eingabe der Kosten	Kosten	4
C Detailberechnung Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI)	Details WTI	5
D Detailberechnung Wirkungs- Index-Strasse (Wlstr)	Details WI	6
E Ausgabe der Resultate und Bericht	Bericht	7

Tabelle 1: Vorgehen bei der Dateneingabe im Berechnungsmodul

In den Schritten A und B erfolgt die eigentliche Dateneingabe. Die Schritte C und D dienen dem Benutzer lediglich zur Kontrolle und zum Verständnis der Rechenschritte. Die Berechnung der einzelnen Zwischenergebnisse übernimmt das Berechnungsmodul. Im Schritt E werden die Resultate der Untersuchung zusammengefasst und in Form eines Kurzberichtes ausgegeben.

3. Eingabe der Lärmbelastungen

Im Arbeitsblatt "Lärmbelastungen" werden die allgemeinen Angaben zum Projekt und die Lärmbelastungen der einzelnen Objekte ohne und mit den geplanten Massnahmen eingetragen.

Arbeitsblatt
"Lärmbelastungen"

3.1 Allgemeine Angaben zum Projekt

Jedem Projekt kann hier eine Projektbezeichnung, eine Angabe über Ort oder Lage und eine Beschreibung der geplanten Massnahmen zugeordnet werden. Im Feld Bemerkungen können zusätzliche Angaben über das untersuchte Projekt eingetragen werden. Sind für ein bestimmtes Gebiet mehrere Massnahmen in verschiedenen Kombinationen möglich, ist eine exakte Bezeichnung der einzelnen Varianten zu empfehlen.

Allg. Angaben
zum Projekt

3.2 Eingabe der Lärmbelastung pro Berechnungspunkt

Die Berechnungen im Rahmen eines Lärmsanierungsprojekts (LSP) erfolgt in der Regel gebäudescharf und bei Lärmschutzmassnahmen im Ausbreitungsbereich sogar für die einzelnen Fassaden und Geschosse. Die Zuordnung der Geschossflächen zu den Lärmbelastungen ist damit präzise möglich. Im vorliegenden Berechnungsmodul werden deshalb für die Ermittlung der Massnahmenwirkung und wirtschaftlichen Tragbarkeit die Lärmbelastungen ohne und mit Massnahmen pro Berechnungspunkt (in der Regel Haus oder Geschoss) eingesetzt.

Jedes betroffene Gebäude muss mindestens einen Berechnungspunkt (BP) aufweisen. Es können jedoch beliebig viele Berechnungspunkte pro Gebäude eingegeben werden (z.B. pro Geschoss oder pro Wohnung). Pro Berechnungspunkt wird im Berechnungsmodul jeweils eine Zeile ausgefüllt.

1 BP pro Zeile

Eine Ausnahme dieser Regel gibt es, falls in einer Wohnung auf demselben Stockwerk zwei BP notwendig sind. Dieser Fall tritt auf, wenn im Szenario ohne Massnahmen nicht derselbe BP die höchste Lärmbelastung aufweist wie im Szenario mit Massnahmen. Diese BP sind auf einer Zeile einzutragen. Es wird jeweils pro Szenario die lauteste Lärmbelastung für die gesamte Wohnung verwendet.

Jedem Berechnungspunkt werden eine Objektnummer und allenfalls eine Punktnummer zugeordnet. Falls ein Gebäude mehrere Berechnungspunkte aufweist, muss die Objekt Nr. nur für die erste Zeile des jeweiligen Objekts eingetragen werden. Das Berechnungsmodul erkennt für die nachfolgenden Rechenschritte, dass die direkt darunter stehenden Berechnungspunkte ohne Objekt Nr. zur letzten oberhalb eingegebenen Objekt Nr. gehören. Die Punkt Nr. dient zur besseren Identifikation der einzelnen Berechnungspunkte. Beispielsweise können so die Bezeichnungen aus dem Strassenlärmkataster (SLK) direkt übernommen werden.

Objekt Nr.
Punkt Nr.

Die Objektnummer muss eine ganze, positive Zahl sein. Bezeichnungen wie z.B. "1.1" oder "1a" sind nicht möglich. Die Punktnummer ist frei wählbar. Bezeichnungen wie z.B. "1.1", "1a" oder "1+2" sind möglich.

In der Spalte "Etage" muss jeder Berechnungspunkt einem Stockwerk zugeordnet werden. Die Etage wird als ganze, positive Zahl eingegeben:

Etage

- Erdgeschoss (EG) = 0
- 1. Obergeschoss (1.OG) = 1
- 2. Obergeschoss (2. OG) = 2 usw.

Wird dieses Feld für einen Berechnungspunkt leer gelassen, führt dies beim Aktuali-

sieren des Berichtes (siehe Kap. 7) zu einer Fehlermeldung.

Damit das Berechnungsmodul die Belastungsgrenzwerte nach Lärmschutzverordnung (LSV) Anhang 3 feststellen kann, muss jedem Berechnungspunkt eine Empfindlichkeitsstufe (ES) zugeordnet werden.

Empfindlichkeitsstufe (ES)

Die Empfindlichkeitsstufen-Zuordnung wird mit den Grossbuchstaben "I" und "V" eingegeben (z.B. II, III, IV), falls das Objekt nur gewerblich genutzt wird, muss die ES-Bezeichnung mit einem grossen "B" ergänzt werden (z.B. IIIB).

Die Anzahl der Wohneinheiten (WE) pro Berechnungspunkt wird für die Berechnung des Wirkungs-Index-Strasse (WIstr) und für die Ermittlung der Anzahl Personen mit Lärmbelastungen über dem Immissionsgrenzwert oder dem Alarmwert benötigt. Eine Wohneinheit entspricht dabei:

Wohneinheit (WE)

- Bei Mehrfamilienhäusern (MFH): 1 WE = 1 Wohnung
- Bei Einfamilienhäusern (EFH): 1 WE = 1 Haus, und
wenn das EFH 2-geschossig ist: 1 Geschoss = 1/2 Wohneinheit
wenn das EFH 3-geschossig ist: 1 Geschoss = 1/3 Wohneinheit, usw.

Die Ermittlung der Anzahl Wohneinheiten erfolgt grundsätzlich vor Ort und in Abhängigkeit der Nutzung der lärmempfindlichen Räume:

- Wohnen: Den einzelnen Berechnungspunkten werden Wohneinheiten (WE) zugeordnet. Es gilt ein pauschaler Ansatz von 3 Personen pro WE.
- Andere Nutzung: Für Betriebsräume ohne erheblichen Betriebslärm, z.B. Büros, Restaurants, Schulen, öffentliche Gebäude, Kirchen, usw. ist die aktuelle Anzahl Personen für den massgebenden Beurteilungszeitraum (Tag / Nacht) einzusetzen, die sich in der Regel dauernd in den Räumen aufhalten (Mitarbeiter, Schüler, usw.). Gäste oder Besucher werden nicht berücksichtigt. Bei Hotels ist von der üblichen Zimmerbelegung auszugehen. Die Anzahl betroffener Personen dividiert durch 3, ergibt die Anzahl WE, die in der entsprechenden Zelle eingetragen werden können.
- Unüberbaute, vor dem 1.1.1985 erschlossene Parzellen: Sofern keine konkreten Baupläne vorliegen, ist das Potential lärm betroffener Personen auf Grund des Zonenplanes abzuschätzen. Für Wohnnutzungen wird 1 WE pro 100 m² Bruttogeschossfläche angenommen.

Falls in einem Projekt nur der Index der wirtschaftliche Tragbarkeit (WTI) von Lärmschutzmassnahmen untersucht wird, müssen die Wohneinheiten nicht zwingend eingegeben werden. Jedoch werden im Arbeitsblatt "Bericht" (siehe Kap. 7) die Abschnitte "Wirkung der Lärmschutzmassnahmen" und "Umfrage Art. 20 LSV (Stand der Strassenlärm sanierung)" nur teilweise oder gar nicht ausgefüllt.

Befinden sich im Untersuchungsperimeter vor dem 1.1.1985 erschlossene unüberbaute oder weitgehende unüberbaute Grundstücke, können diese als Ausnutzungsreserve für die Berechnung des Zusatznutzens verwendet werden. Sie sind in der Spalte "Parz." mit einem kleinen "x" zu kennzeichnen.

unüberbaute Parzellen

Eine Verdichtung der bereits weitgehend bebauten Parzellen wird im vorliegenden Berechnungsmodul vernachlässigt. Sie wird nicht zur Ausnutzungsreserve gezählt und erscheint damit auch nicht im Zusatznutzen für die Berechnung der wirtschaftlichen Tragbarkeit.

Jedem Berechnungspunkt wird eine lärm belastete Gebäudefläche (GF_{lärm}) in m² zugeordnet. Sie entspricht je nach Detaillierungsgrad des Projekts der Grundrissfläche einer Wohnung, eines Stockwerks oder eines ganzen Gebäudes, welche einer bestimmten Lärmbelastung zugeordnet werden kann.

Lärmbelastete Gebäudefläche (GF_{lärm})

Die in einem Lärmberechnungsprogramm ermittelten Lärmbelastungen werden für die definierten Berechnungspunkte für den Zustand ohne und mit Massnahmen in die dafür vorgesehenen Spalten eingesetzt. Für beide Zustände können die Lärmbelastungen der Tag- und Nachtperiode eingetragen werden.

**Effektive
Lärmbelastung
ohne / mit
Massnahmen**

Werden im Rahmen einer Sanierung bestehende Lärmschutzmassnahmen (LSM) ersetzt, sind diese bei der Ermittlung der Lärmbelastungen für den Zustand ohne Massnahmen nicht zu berücksichtigen. Die im Beurteilungsmodell einzusetzenden Belastungen beziehen sich somit auf einen Zustand ohne bestehende Massnahmen.

Können bestehende Massnahmen ergänzt (z.B. verlängert oder erhöht) werden, ohne dass ein Abbruch erfolgt, sind die Lärmbelastungen für den Ausgangszustand ("Lr ohne Massnahmen") mit bestehenden Massnahmen zu ermitteln.

Die Wirkung der vorgesehenen Lärmschutzmassnahmen (LSM) berechnet sich aus der Differenz der Lärmbelastungen ohne und mit Massnahmen der massgebenden, kritischeren Periode. Falls die Differenz zwischen der Lärmbelastung ohne Massnahmen am Tag im Vergleich zu jener in der Nacht mehr als 10 dBA beträgt, ist die Tagperiode massgebend. Andernfalls wird die Massnahmenwirkung der Nachtperiode ausgewiesen. Es wird somit immer die Wirkung jener Periode ausgewiesen, die für die Berechnung der wirtschaftlichen Tragbarkeit verwendet wird.

Wirkung

4. Eingabe der Kosten

Das Arbeitsblatt für die Eingabe der Kosten ist in zwei Tabellen gegliedert. In der ersten Tabelle werden die Kosten für Massnahmen im Ausbreitungsbereich (z.B. Lärmschutzwände, Überdeckung, usw.) eingegeben.

**Arbeitsblatt
"Kosten"**

Die zweite Tabelle enthält die Kosten für lärmarme Strassenbeläge. Dabei werden die Kosten für den lärmarmen Belag mit den Kosten eines Referenzbelages verglichen. Für die Berechnung der wirtschaftlichen Tragbarkeit werden nur die Mehrkosten des neuen Belages im Vergleich zum Referenzbelag berücksichtigt.

Die Kosten von Schallschutzfenstern werden nicht berücksichtigt, da sie als Ersatzmassnahme gelten.

**Schallschutz-
fenster**

Bei den Kosten im Ausbreitungsbereich wird pro Zeile eine Lärmschutzmassnahme (LSM) behandelt (z.B. Lärmschutzwände, Überdeckungen, usw.). Insgesamt können maximal 6 verschiedene LSM eingegeben werden.

**Beschrieb der
Kosten-
positionen**

Bei Belagssanierungen muss der neue Belagstyp und der entsprechende Preis pro m² Belag eingetragen werden. In den darunter liegenden grauen Feldern wird der Referenzbelag ausgewiesen. Die lärmbezogenen Belagsmehrkosten des neuen Belages beziehen sich auf den vorgegebenen Referenzbelag.

Für jede Kostenposition werden die Investitionskosten in der dafür vorgesehenen Spalte eingetragen. Sie sind auf Basis der Projektunterlagen zu erheben. Falls keine projektspezifischen Kosten vorliegen sind die im Anhang 4b des Leitfadens Strassenlärm (UV-0637) publizierten Werte zu verwenden.

**Investitions-
kosten**

Wird eine bestehende Lärmschutzmassnahme (LSM) ersetzt sind die Abbruchkosten und die noch nicht abgeschriebenen Investitionskosten der bestehenden Massnahme mit zu berücksichtigen. Können bestehende Massnahmen ergänzt (z.B. verlängert oder erhöht) werden, ohne dass ein Abbruch erfolgt, sind nur die Mehrkosten der zusätzlichen Massnahmen einzurechnen.

Bei einem Belagersatz werden nur die Investitionskosten für den neuen Belag in die entsprechende Zelle eingetragen. Die Investitionskosten des Referenzbelages mit welchen die Kosten des neuen Belages verglichen werden, ermittelt das Berechnungsmodul automatisch.

Die Investitionskosten sind unter Berücksichtigung von Abschreibung, Kapitalverzinsung und den jährlich wiederkehrenden Betriebs- und Unterhaltskosten in Jahreskosten umzurechnen. Die Berechnung erfolgt mit der Annuitätenmethode, bei welcher der Kapitalwert einer Investition unter Einbezug der Kapitalverzinsung auf die Lebensdauer verteilt wird (siehe auch Beilage 2, Formel 1 + 2). Für die Ermittlung der Jahreskosten sind folgende Angaben nötig (siehe Tabelle mit den vorge schlagenen Werten im Arbeitsblatt "Kosten"):

Jahreskosten

- Um den Kapitalwert einer Investition zu berechnen wird ein im Anhang 4b des Leitfadens festgelegter Kapitalzinssatz berücksichtigt.
- Es wird eine Lebensdauer angenommen auf welche der Kapitalwert der geplanten Massnahme verteilt wird.
- Jährlich fallen für den Betrieb und Unterhalt einer Lärmschutzmassnahme Kosten an. Im Berechnungsmodul werden diese in Prozent der Investitionskosten angegeben.

Kapitalzins

Lebensdauer

**Anteil Betrieb
und Unterhalt**

Aufgrund dieser Angaben werden die Kapitalkosten, die Abschreibungskosten und die Betriebs- und Unterhaltskosten berechnet und im Berechnungsmodul ausgewiesen.

5. Detailberechnung WTI (Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit)

Im Arbeitsblatt "Details WTI" erfolgt keine Dateneingabe. Die Details für die Berechnung der wirtschaftlichen Tragbarkeit können hier kontrolliert werden.

Arbeitsblatt
"Details WTI"

Die akustische Belastung wird aus dem Produkt: effektive Überschreitung der Untergrenze (dBA) x lärmbelastete Gebäudefläche ($GF_{\text{lärm}}$) ermittelt (siehe Beilage 2, Formel 3). Die Untergrenze liegt um 5 dBA unter den Belastungsgrenzwerten der Lärmschutzverordnung (bestehende Anlagen: IGW-5, Neuanlagen: PW-5).

Akustische
Belastung

Die akustische Belastung wird in 4 verschiedene Lärmklassen aufgeteilt, welche wie folgt definiert sind:

Lärmklassen
(LK)

- LK 1: Die Lärmbelastung ist grösser als der Alarmwert (AW).
- LK 2: Die Lärmbelastung liegt zwischen dem Immissionsgrenzwert (IGW) und dem AW.
- LK 3: Bei bestehenden Anlagen liegt die Lärmbelastung zwischen dem IGW - 5 dBA und dem IGW. Bei Neuanlagen liegt sie zwischen dem Planungswert (PW) und dem IGW.
- LK 4: Diese Lärmklasse existiert nur bei Neuanlagen, wenn die Lärmbelastung zwischen PW - 5 dBA und dem PW liegt.

Für die Berechnung der volkswirtschaftlichen Lärmkosten wird ein mittlerer Jahresmietpreis pro m² Gebäudefläche und Jahr angenommen (UV-0637 Anhang 4b). Daraus wird pro Dezibel effektiver Überschreitung der Untergrenze ein Wertverlust in Prozent des Mietpreises (Mietpreisfaktor, differenziert nach Lärmklassen) berechnet (siehe Beilage 2, Formel 4).

Mietkosten /
Mietpreisfaktor

Die Mietpreisfaktoren der 4 Lärmklassen (LK) wurden im Modell SRU Nr. 301 folgendermassen festgelegt (in % pro dBA):

- LK 1: 1.0%
- LK 2: 0.9%
- LK 3: 0.8%
- LK 4: 0.8%

In Abweichung zum Modell SRU Nr. 301 wird empfohlen, für den mittleren Jahresmietpreis den schweizerischen Durchschnitt zu wählen. Sonst werden für Gebiete mit hohen Jahresmietpreisen (z.B. in Städten) höhere Lärmkosten berechnet als in einer vergleichbaren Situation auf dem Land. Dies widerspricht den Grundsätzen der LSV und der Gleichbehandlung aller Betroffenen.

Der mittlere Jahresmietpreis ist auf den gleichen Zeitpunkt hin zu indexieren, wie die Grundlagen zur Ermittlung der Jahreskosten. Diese Kennzahlen sind im Anhang 4b des Leitfadens Strassenlärm (UV-0637) publiziert, welcher periodisch aktualisiert wird. Die Mietpreisfaktoren und der mittlere Jahresmietpreis können im Arbeitsblatt "Details WTI" verändert werden. Änderungen der vorgegebenen Werte sollten aber nur in begründeten Ausnahmen vorgenommen werden.

Die Berechnung der volkswirtschaftlichen Lärmkosten nach der oben beschriebenen Methode wird für den Zustand ohne und mit Massnahmen separat durchgeführt. Für beide Zustände werden die Lärmkosten (Schaden) ohne und mit den Zusatzkosten für unüberbaute Grundstücke berechnet.

Volkswirtschaft-
liche Kosten
des Lärms

Die Zusatzkosten werden nur für unüberbaute Grundstücke (erschlossene Bauzonen) berechnet, da für die bereits bebauten Grundstücke angenommen wird, dass an den bestehenden Gebäuden und in deren näherem Umfeld keine wesentlichen baulichen Vergrösserungen der lärmbelasteten Gebäudefläche mehr erfolgt.

Um den volkswirtschaftlichen Jahresnutzen der Lärmschutzmassnahmen (LSM) zu berechnen, muss die Differenz zwischen den lärmbedingten volkswirtschaftlichen Gesamtkosten ohne und mit Lärmschutzmassnahmen berechnet werden.

Volkswirtschaftlicher Nutzen der LSM

Mit den berechneten Kenngrössen erfolgt die eigentliche Interessenabwägung und Beurteilung. Aufgrund der vorangehenden Teilschritte werden die Effizienz (Nutzen / Kosten) und die Effektivität (Zielerreichung in Prozent des nach Gesetz vorgeschriebenen Schutzes) ermittelt.

Die Effizienz entspricht dem Verhältnis des Nutzens zu den Kosten. Sie wird als Kriterium für die Beurteilung der volkswirtschaftlichen Tragbarkeit verwendet (siehe Beilage 2, Formel 5).

Effizienz

Die Berechnung der Effektivität erfolgt durch den Vergleich der nach dem Gesetz (USG, LSV) nötigen Sanierung ohne und mit Massnahmen.

Effektivität

Um die Effektivität zu erhalten, müssen die Summen der lärmbelasteten Gebäudeflächen ohne und mit Lärmschutzmassnahmen mal ihre effektive Überschreitung des Belastungsgrenzwertes (bei bestehenden Anlagen: IGW, bei Neuanlagen: PW) bestimmt werden. Die Effektivität der Lärmschutzmassnahme wird nach der Formel 6 in der Beilage 2 berechnet.

6. Detailberechnung Wlstr (Wirkungs-Index-Strasse)

Im Arbeitsblatt "Details WI" wird der Wirkungs-Index-Strasse (Wlstr) berechnet. Mit Ausnahme der zusätzlichen Angabe der Wohneinheiten (WE) im Arbeitsblatt "Lärmbelastungen" sind dazu keine weitere Dateneingaben erforderlich. Für die Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Sanierungsmassnahmen nach dem Leitfaden Strassenlärm (UV-0637) muss der Wlstr nicht berechnet werden. Jedoch ist für die Umfrage zum Stand der Lärmsanierung bei Strassen nach Art. 20 der Lärmschutzverordnung (LSV) der Wlstr (UV-0637 Anhang 5) zu ermitteln.

Arbeitsblatt
"Details WI"

Nachfolgend werden die Rechenschritte für die Berechnung des Wlstr aufgezeigt, damit diese nachvollzogen werden können.

Der Wlstr ist für Projekte in Projektierung oder in Ausführung der Kategorie "übrige Strassen" in der Umfrage Art. 20 LSV zu berechnen. Es werden dabei nur Lärmschutzmassnahmen im Ausbreitungsbereich (Lärmschutzwände, Dämme) berücksichtigt. Die Kosten und Wirkung von Belagssanierungen werden nicht mit einbezogen. Der Wlstr von Projekten bei denen die Belagssanierung mit einfliesst, können somit nicht für die Umfrage Art. 20 LSV verwendet werden. Die Kosten und Wirkung der Belagssanierung müssen dafür ausgeklammert werden.

Wlstr

Der Wlstr ist das Verhältnis der Investitionskosten der Lärmschutzmassnahmen im Ausbreitungsbereich zu deren Nutzen (Wirkung x Anzahl betroffene Personen). Die Wirkung einer Massnahme wird dabei in Abhängigkeit der Lärmbelastung und der Nutzung gewichtet (Beilage 2, Formel 7).

Wenn der Wlstr für die Umfrage Art. 20 LSV verwendet wird, müssen die Kosten der Lärmschutzmassnahmen mit einem einheitlichen Kostenansatz ermittelt werden. Pro m² Lärmschutzwand oder Damm sind 1'000 CHF zu verwenden. Damit man die Wlstr einzelner Projekte besser vergleichen kann, wird dieser Kostenansatz auch gebraucht, wenn die genauen Baukosten bekannt sind. Es gilt zu beachten, dass dieser einheitliche Ansatz nur für die Berechnung des Wlstr und nicht für die Ermittlung des Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI) gilt. Wie im Kapitel 4 bereits erwähnt, sind die Kosten ansonsten möglichst genau zu ermitteln.

Kosten

Für die Berechnung des Nutzens werden nur Berechnungspunkte mit Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte (IGW) im Zustand ohne Massnahmen berücksichtigt.

Nutzen

Die Wirkung wird abhängig von der Lärmbelastung in verschiedene Kategorien aufgeteilt und mit den Faktoren zur Gewichtung des Nutzens aus Beilage 1 gewichtet. Für die Gewichtung wird die massgebende Periode (Tag / Nacht) berücksichtigt.

Die gewichtete Wirkung multipliziert mit der Anzahl betroffener Personen ergibt den Nutzen der Lärmschutzmassnahme.

7. Resultate und Bericht

Im Arbeitsblatt "Bericht" erfolgt keine Eingabe von Daten. Die Resultate der Untersuchung werden zusammengefasst und in Form eines Kurzberichtes ausgegeben.

**Arbeitsblatt
"Bericht"**

Einige der Resultate werden erst mit der Aktualisierung des Berichts in die dafür vorgesehenen Zellen eingetragen. In der oberen, rechten Ecke des Arbeitsblattes befindet sich dazu eine Befehlsschaltfläche ("Bericht aktualisieren").

Der Kurzbericht ist in fünf Abschnitte unterteilt, die nachfolgend erläutert werden.

Damit vor allem bei Variantenstudien die untersuchten Lärmschutzmassnahmen von einander unterschieden werden können, werden die im Kapitel 3.1 beschriebenen Angaben zum Projekt hier erneut erwähnt.

**Angaben zum
Projekt**

Mit der Aktualisierung des Berichts, werden im Abschnitt "Wirkung der Lärmschutzmassnahmen" die Wirkungen der untersuchten Massnahmenvariante pro Gebäude und Stockwerk abgebildet. Es wird jeweils die Wirkung am exponiertesten Punkt im entsprechenden Stockwerk und Gebäude ausgewiesen. Gibt es mehr als 4 Obergeschosse wird in der Spalte "> 4.OG" die Wirkung des exponiertesten Punktes ab dem 4. OG ausgegeben.

**Wirkung der
LSM**

Zusätzlich wird die Anzahl der Personen, welche von einer Belastungsgrenzwert-Überschreitung in den Zuständen ohne Massnahmen und mit Massnahmen betroffen sind, ausgewiesen. Für bestehende Anlagen werden sämtliche Personen mit IGW-Überschreitungen angegeben, für Neuanlagen jene mit PW-Überschreitungen.

In der letzten Spalte werden die maximalen Belastungsgrenzwert-Überschreitungen (bestehende Anlagen: IGW-Überschreitung, Neuanlagen: PW-Überschreitung) in dBA pro Gebäude mit den geplanten Lärmschutzmassnahmen berechnet.

Im Abschnitt "Kosten der Lärmschutzmassnahmen" werden die totalen Investitionskosten und die jeweiligen Jahreskosten pro Lärmschutzmassnahme aufgeführt. Die Summe der Investitionskosten wird für die Berechnung des Wlstr verwendet. Das Total der Jahreskosten wird für die Ermittlung des WTI benötigt.

Kosten der LSM

Im Abschnitt "Wirtschaftliche Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen" wird zum einen der Schaden pro Jahr, d.h. die volkswirtschaftlichen Lärmkosten pro Jahr, der Situation ohne und mit Massnahmen ausgewiesen. Der jährliche Nutzen der untersuchten Lärmschutzmassnahmen ergibt sich aus der Schadens-Differenz der beiden Zustände.

**Wirtschaftliche
Tragbarkeit der
LSM**

Anschliessend wird der Anteil am Nutzen von Objekten mit einer Lärmbelastung von IGW - 5 dBA bis IGW für bestehende Anlagen und von PW - 5 dBA bis PW für Neuanlagen am Gesamtnutzen berechnet.

Die Gesamtbeurteilung eines Projekts im Sinne der rechtlich geforderten Interessenabwägung erfolgt anhand des Effizienz / Effektivitäts-Diagramms. Es erlaubt eine Klassierung der Massnahmen (siehe Beilage 2, Erläuterungen zum Kapitel 7), sowie Variantenvergleiche und Optimierungen. Aus den im Kapitel 5 beschriebenen Grössen Effizienz und Effektivität wird nach der Formel 8 in der Beilage 2 der WT-Index (WTI) berechnet. Sämtliche Kennzahlen werden in einer Tabelle ausgegeben.

Die beschriebenen Angaben zur wirtschaftlichen Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen werden für den aktuellen Ausbaugrad und für den Ausbaugrad mit Zusatznutzen (mit der Berücksichtigung der Parzellen) sowohl in den Tabellen wie auch im Effizienz / Effektivitäts-Diagramms dargestellt.

Im Abschnitt "Umfrage Art. 20 LSV (Stand der Strassenlärmsanierung)" werden neben dem im Kapitel 6 beschriebenen gewichteten Wlstr auch der ungewichtete Wlstr, sowie diverse Zahlen zur Lärmsituation aufgelistet, die für die Umfrage Art. 20 LSV relevant sind.

Die Lärmsituation vor und nach der Sanierung wird mit der Anzahl Gebäude und Personen, die die Belastungsgrenzwerte (bestehende Anlagen: IGW und AW, Neuanlagen: PW und IGW) beschrieben. Zudem wird die Anzahl Gebäude mit gesenkter Lärmbelastung ausgewiesen. Dies sind Gebäude, bei denen in mindestens einem Geschoss (mit lärmempfindlicher Nutzung) die Lärmbelastung um 1.0 dBA gesenkt werden konnte und vor der Sanierung der IGW (bestehenden Anlagen), resp. der PW (Neuanlagen), überschritten ist.

Der ungewichtete Wlstr wird wie der gewichteten Wlstr berechnet. Jedoch wird für die Berechnung des Nutzens die Wirkung nicht in verschiedenen gewichtete Kategorien unterteilt. Die ungewichtete Wirkung multipliziert mit der von Belastungsgrenzwert-Überschreitungen betroffenen Anzahl Personen ergibt den Nutzen.

Die in diesem Abschnitt berechneten Werte, können nicht in jedem Fall für die Umfrage Art. 20 LSV verwendet werden. In folgenden Situationen können die Werte nicht benutzt werden:

- Neuanlagen werden in der Umfrage Art. 20 LSV nicht behandelt. Es werden nur bestehende Anlagen berücksichtigt.
- Werden bei Projekten die Kosten und Wirkung von Belagssanierungen mitberücksichtigt, kann der ausgewiesene Wlstr nicht verwendet werden. Es werden nur Lärmschutzmassnahmen (LSM) im Ausbreitungsbereich beurteilt.
- Falls die Kosten der LSM im Ausbreitungsbereich nicht auf der Kostenannahme von 1'000 CHF/m² basieren, kann der Wlstr ebenfalls nicht für die Umfrage gebraucht werden.

Auch wenn in diesen Fällen die erwähnten Kennzahlen nicht für die Umfrage Art. 20 LSV verwendet werden dürfen, vermitteln sie trotzdem einen guten Überblick zur Lärmsituation der betrachteten Projekte und tragen somit zu einer besseren Entscheidungsfindung bei, ob und warum eine Massnahmenvariante realisiert werden soll.

Beilagen

- 1 Beilageblatt zum Berechnungsmodul mit Standarddaten
- 2 Grundlagen
- 3 Berechnungsbeispiel
- 4 Abkürzungen

Beilageblatt zum Berechnungsmodul mit Standarddaten

Kennzahlen / Richtwerte

Arbeitsblatt "Details WTI"

Die Mietpreisfaktoren der 4 Lärmklassen in % pro dBA:

Lärmklasse 1:	1.0%
Lärmklasse 2:	0.9%
Lärmklasse 3:	0.8%
Lärmklasse 4:	0.8%

Arbeitsblatt "Details Wlstr"

Lärmbelastung		Faktoren zur Gewichtung des Nutzens	
Tag	Nacht	Wohnen	Gewerbe
> 75	> 65	3	3
70 - 75	60 - 65	3	2
65 - 70	55 - 60	2	1
60 - 65	50 - 55	1	0.5
55 - 60	45 - 50	0.5	0.2
50 - 55	40 - 45	0.2	-

Grundlagen

Erläuterungen zum Kapitel 4

Formel 1: Berechnung der Jahreskosten von Lärmschutzmassnahmen [Fr./Jahr].

$$Jahreskosten = \frac{Investitionskosten}{100} \cdot \left(\left(\frac{i}{1 - \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{-n}} \right) + Anteil\ Investmentskosten\ Unterhalt \right)$$

Investitionskosten : Investitionskosten einer Lärmschutzmassnahme [Fr.]

i : Kapitalzinssatz [%]

n : Lebensdauer einer Lärmschutzmassnahme [Jahre]

Anteil Investitionskosten

Unterhalt : prozentualer Anteil der Kosten für Betrieb und Unterhalt an den Investitionskosten [%]

Formel 2: Berechnung der jährlichen Mehrkosten bei Einbau eines lärmarmen Belags [Fr./Jahr].

$$Mehrkosten\ lärmarmen\ Belag = Jahreskosten_{lärmarmen\ Belag} - Jahreskosten_{Referenzbelag}$$

Jahreskosten_{lärmarmen Belag} : Jahreskosten des lärmarmen Belags [Fr.]

Jahreskosten_{Referenzbelag} : Jahreskosten des Referenzbelags [Fr.]

Erläuterungen zum Kapitel 5

Formel 3: Berechnungsformel für die akustische Belastung für den ausgewählten Berechnungspunkt (L_{BP} [dBA*m²]).

$$L_{BP} = \Delta dBA \cdot GF_{Lärm}$$

ΔdBA : Effektive Überschreitung vom IGW-5 (bestehenden Anlagen) und PW-5 (Neuanlagen) [dBA].

$GF_{Lärm}$: Dem jeweiligen Berechnungspunkt zugewiesene lärmbelastete Gebäudefläche [m²].

Formel 4: Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten des Lärms ($VK_{Lärm}$ [Fr./a]) in der ausgewählten Zone.

$$VK_{Lärm} = L_{BP} \cdot MF \cdot \overline{JMP}$$

MF : Mietpreisfaktor [%/dBA].

$\overline{JMP}$: Mittlerer Jahresmietpreis pro m² [Fr./m²*a]

Formel 5: Berechnung der Effizienz [-].

$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Jahresnutzen}}{\text{Jahreskosten}} = \frac{VK_{\text{lärm,ohne}} - VK_{\text{lärm,mit}}}{\text{Jahreskosten}}$$

$VK_{\text{lärm,ohne}}$: lärmbedingte Gesamtkosten ohne Lärmschutzmassnahmen [Fr./a]

$VK_{\text{lärm,mit}}$: lärmbedingte Gesamtkosten mit Lärmschutzmassnahmen [Fr./a]

Formel 6: Berechnung der Effektivität [%].

$$\text{Effektivität} = \frac{\sum_i GF_{\text{lärm,ohne,LK}_i} \cdot \Delta dBA_{LK_i} - \sum_i GF_{\text{lärm,mit,LK}_i} \cdot \Delta dBA_{LK_i}}{\sum_i GF_{\text{lärm,ohne,LK}_i} \cdot \Delta dBA_{LK_i}} \cdot 100$$

$GF_{\text{lärm,mit,LK}_i}$: lärmbelastete Gebäudefläche mit Lärmschutzmassnahmen der Lärmklasse i [m²] (i = 1, 2)

$GF_{\text{lärm,ohne,LK}_i}$: lärmbelastete Gebäudefläche ohne Lärmschutzmassnahmen der Lärmklasse i [m²] (i = 1, 2)

ΔdBA_{LK_i} : Effektive Überschreitung vom IGW (bestehende Anlage), resp. PW (Neuanlage) [dBA], für die Berechnungspunkte in den Lärmklassen i = 1, 2

Erläuterungen zum Kapitel 6

Formel 7: Berechnungsformel für den gewichteten Wirkungs-Index-Strasse (Wlstr [Fr./dBA*Person*Jahr])

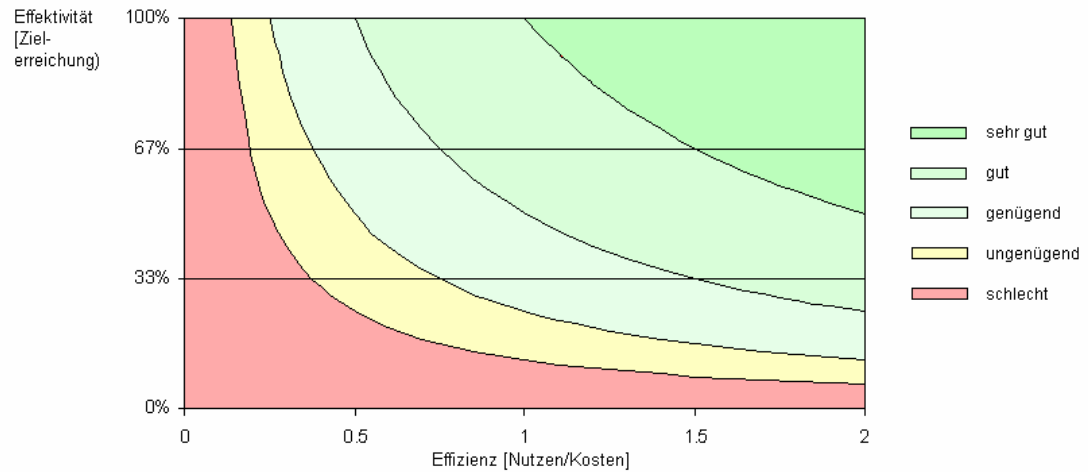
$$Wlstr = \frac{\text{Investitionskosten}}{\sum \Delta dBA_{\text{gewichtet}} \cdot WE \cdot 3}$$

$\Delta dBA_{\text{gewichtet}}$: Gewichtete, effektive Überschreitung des IGW (bestehenden Anlagen), resp. PW (Neuanlagen) [dBA]

WE : Dem jeweiligen Berechnungspunkt zugewiesene Wohneinheiten. (Annahme pro WE: 3 Personen).

Erläuterungen zum Kapitel 7

Abbildung 1: Das Effizienz / Effektivitäts-Diagramm mit optimierten Kategorien.



Formel 8: Berechnung des WT-Index

$$WTI = \frac{\text{Effizienz} \cdot \text{Effektivität}}{25}$$

Beurteilung:

WTI	$>$	4.0	-	sehr gut
WTI	$>$	2.0	-	gut
WTI	$\geq$	1.0	-	genügend
WTI	$<$	1.0	-	ungenügend
WTI	$<$	0.5	-	schlecht

Berechnungsbeispiel



Abbildung 2: 3D-Darstellung des Berechnungsbeispiels

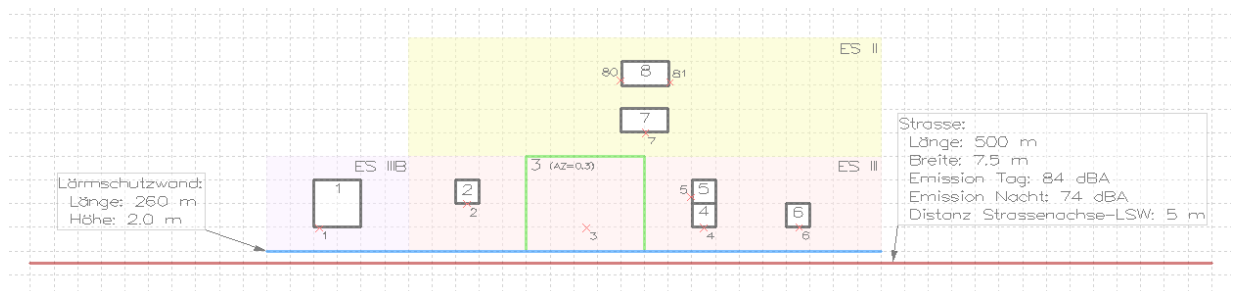


Abbildung 3: Plan des Berechnungsbeispiels

Angaben zu den Dimensionen des Beispiels:

Die Abbildung 3 ist durch ein Gitternetz (10 m x 10 m) strukturiert. Sämtliche Objekte, mit Ausnahme der Strasse, befinden sich auf einer Gitternetzlinie. Die Strassenachse weist einen Abstand von 5 m zur Lärmschutzwand auf. Für die Gebäude und die Parzelle wurden folgende Annahmen getroffen:

Objekt Nr.	Typ	Anzahl Stockwerke	GF _{lärm} pro Stockwerk	Gebäudehöhe	WE pro Stockwerk
1	Gebäude	1	400 m ²	3.50 m	1
2	Gebäude	6	100 m ²	17.00 m	1
3	Parzelle	2	300 m ²	-	3
4	Gebäude	1	100 m ²	3.50 m	1
5	Gebäude	1	100 m ²	3.50 m	1
6	Gebäude	2	100 m ²	7.00 m	0.5
7	Gebäude	3	200 m ²	9.00 m	1
8	Gebäude	3	200 m ²	9.00 m	1

Tabelle 2: Gebäude- / Parzelleneigenschaften

Die Berechnungspunkte (BP) sind entsprechend der Abbildung 3 zu positionieren. Für den BP im Erdgeschoss wurde eine Höhe von 1.70 m angenommen. Alle Obergeschosse befinden sich jeweils 2.80 m höher als das Stockwerk unterhalb. D.h. die BP sind wie folgt zu setzen:

1. OG: 4.50 m, 2. OG: 7.30 m, 3. OG: 10.10 m, 4. OG: 12.90 m und 5. OG: 15.70 m.

Die Dimensionen der Strasse und Lärmschutzwand sind in der Abbildung 3 dargestellt. Die Wirkung der Belagssanierung beträgt -1 dBA.

Angaben zu den Kosten:

- ▫ Die geplante Lärmschutzwand kostet: 1'000 CHF/m².
- ▫ Belagersatz durch einen Rauhasphalt (AC MR8): 34 CHF/m².
- ▫ Wenn nichts anderes angegeben wurde, sind die Vorgaben des Berechnungsmoduls zu verwenden (siehe auch UV-0637 Anhang 4b).
- ▫ Als Referenzjahr wird das Jahr 2007 gewählt (mittlerer Jahresmietpreis: 150 Fr./m² pro Jahr).

Lärmbelastungen

Die Lärmberechnungen werden ohne Berücksichtigung allfälliger Reflexionen durchgeführt. Im Szenario ohne Massnahmen resultieren folgende Lärmbelastungen:

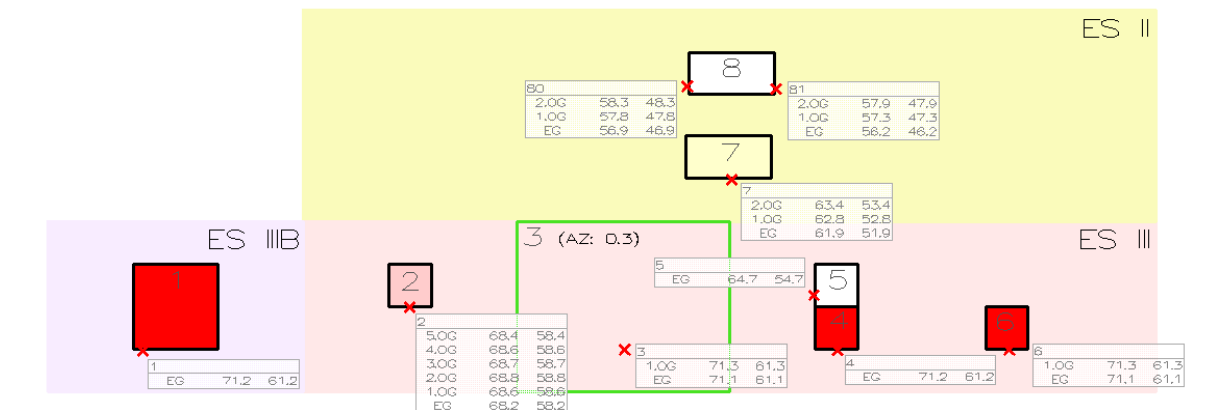


Abbildung 4: Lärmbelastungen im Szenario ohne Massnahmen

Im Szenario mit Massnahmen (Lärmschutzwand und Belagersatz) resultieren folgende Lärmbelastungen:

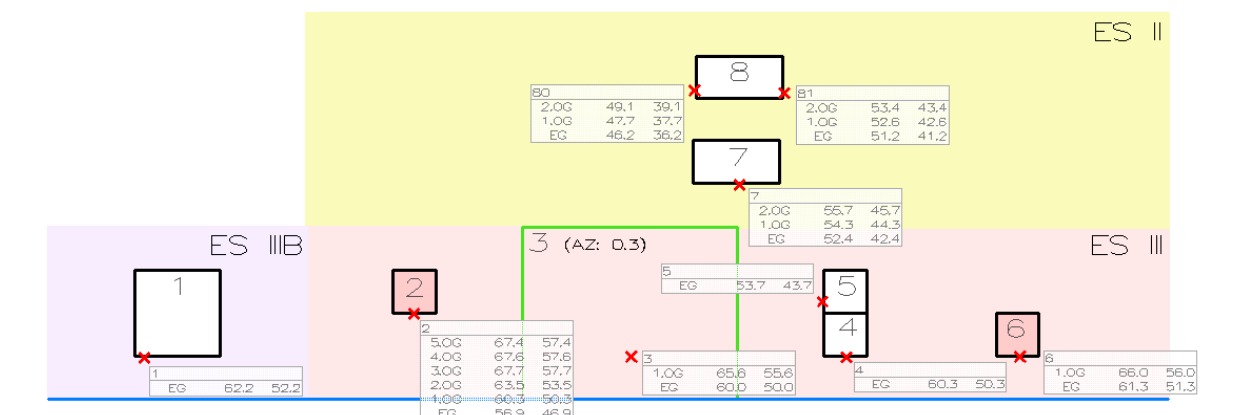


Abbildung 5: Lärmbelastungen im Szenario mit Massnahmen

Abkürzungen

AW	Alarmwert
AZ	Ausnutzungsziffer
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BP	Berechnungspunkt
dBA	A-bewerteter Schallpegel in Dezibel
ES	Empfindlichkeitsstufe
GF _{lärm}	Lärmbelastete Gebäudefläche
IGW	Immissionsgrenzwert
JMP	Mittlerer Jahresmietpreis pro m ²
KNF	Kosten-Nutzen-Faktor
LK	Lärmklassen
LSM	Lärmschutzmassnahme
LSV	Lärmschutz-Verordnung
LSP	Lärmsanierungsprojekt
L _{BP}	Akustische Belastung in des betroffenen Berechnungspunktes
MF	Mietpreisfaktor
PW	Planungswert
SLK	Strassenlärmkataster
SRU	Schriftenreihe Umwelt
USG	Umweltschutzgesetz
VK _{Lärm,mit}	Lärmbedingte Gesamtkosten mit Lärmschutzmassnahmen
VK _{Lärm,ohne}	Lärmbedingte Gesamtkosten ohne Lärmschutzmassnahmen
WE	Wohneinheit
Wlstr	Wirkungs-Index-Strasse
WTI	Index wirtschaftliche Tragbarkeit