

Staatliches Bauamt Ansbach

Straße / Abschnittsnummer / Station: B 2_2330_0,013 - B 2_2360_0,597

Höhenfreier Umbau der Eichstätter Kreuzung

PROJIS-Nr.:

Feststellungsentwurf

Schalltechnische Untersuchung Endzustand – Variantenvergleich

aufgestellt:
staatliches Bauamt Ansbach
Ansbach, den 21.04.2023



Schmidt, Ltd. Baudirektor



**Institut für
Immissionsschutz
und Technische Akustik**

Schalltechnische Untersuchung zum höhenfreien Umbau der Eichstätter Kreuzung in Weißenburg Variantenvergleich

Auftraggeber: Staatliches Bauamt Ansbach

OINF Projekt Nr.: 25060

Datum: 15.02.2023

Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	4
1 Aufgabenstellung	5
2 Grundlagen des Variantenvergleichs Schallschutz.....	6
2.1 KOSTEN FÜR DEN AKTIVEN SCHALLSCHUTZ.....	6
2.2 KOSTEN FÜR FAHRBAHNBELAG.....	7
2.3 SCHUTZFÄLLE UND KOSTEN JE GELÖSTER SCHUTZFALL	7
2.4 LAUTHEITSGEWICHT.....	7
2.5 EFFEKTIVITÄT / EFFIZIENZ DER SCHALLSCHUTZMAßNAHME.....	8
3 Variantenvergleich Schallschutzmaßnahmen	9
3.1 1. QUADRANT (NW).....	9
3.1.1 ERGEBNISSE DER BERECHNUNG 1. QUADRANT (NW).....	10
3.1.2 EMPFEHLUNG FÜR 1. QUADRANT (NW).....	11
3.2 2. QUADRANT (NO).....	12
3.2.1. ERGEBNISSE DER BERECHNUNG 2. QUADRANT (NO).....	13
3.2.2. EMPFEHLUNG FÜR 2. QUADRANT (NO).....	13
3.3 3. QUADRANT (SO)	14
3.3.1. ERGEBNISSE DER BERECHNUNG 3. QUADRANT (SO).....	15
3.3.2. EMPFEHLUNG FÜR 3. QUADRANT (SO).....	16
3.4 4. QUADRANT (SW).....	16
3.4.1. ERGEBNISSE 4. QUADRANT (SW).....	17
3.4.2. EMPFEHLUNG FÜR 4. QUADRANT (SW).....	18
4 Vorgeschlagene Schallschutzmaßnahmen für B 2.....	19
Anhang 1: Herstellungskosten aktive Schallschutzmaßnahmen.....	20
Anhang 2: Erhaltungskosten aktive Schallschutzmaßnahmen.....	21
Anhang 3: Detaillierte Dokumentation – Variantenvergleich B 2.....	22

Literaturverzeichnis

- 1 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung
 - 2 Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 16. BImSchV - Verkehrslärmschutzverordnung vom 12.06.1990 (BGBl I S. 1036), die durch Artikel 1 des Gesetzes vom November 2020 (BGBl I S. 2334) geändert worden ist.
 - 3 Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 24. BImSchV-Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung vom 4.02.1997
 - 4 Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS 19; Ausgabe 2019
 - 5 Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 26/1997, Bundesminister für Verkehr, Az. StB 15/14.80.13-65/11 Va 97, Verkehrslärmschutzrichtlinien 1997 vom 02.06.1997
 - 6 Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 14/1991 vom 25.04.1991, Bundesminister für Verkehr, Az. StB 11/26/14.86.22 – 01/27 Va 91
 - 7 Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2017 – 2018 – 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
 - 8 Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung vom 1. Juli 2010 (BGBl. I S. 856), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Mai 2021 (BGBl. I S.) geändert worden ist
 - 9 Richtlinien für den Lärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes – VLärmSchR 97 vom 27. Mai 1997
-

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Untersuchte Schallschutzvarianten für 1.Quadrant (NW) mit zwei gleich hohen Lärmschutzwänden.....	10
Tabelle 2:	Untersuchte Schallschutzvarianten für 1. Quadrant (NW) mit stark reflexionmindernden Paneelen an den Trogwänden und zwei gleich hohen Lärmschutzwänden.....	11
Tabelle 3:	Untersuchte Schallschutzvarianten für 2. Quadrant (NO) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und einer Lärmschutzwand.....	13
Tabelle 4:	Untersuchte Schallschutzvarianten für 3. Quadrant (SO) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und zwei Lärmschutzwänden.....	15
Tabelle 5:	Untersuchte Schallschutzvarianten für 4. Quadrant (SW) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden, einer Lärmschutzwand und einem Lärmschutzwall.....	17
Tabelle 6:	Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 1. Quadrant (NW) mit zwei gleich hohen Lärmschutzwänden.....	22
Tabelle 7:	Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 1. Quadrant (NW) mit stark reflexionmindernden Paneelen an den Trogwänden und zwei gleich hohen Lärmschutzwänden	22
Tabelle 8:	Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 2. Quadrant (NO) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und einer Lärmschutzwand.....	23
Tabelle 9:	Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 3. Quadrant (SO) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und zwei Lärmschutzwänden.....	24
Tabelle 10:	Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 4. Quadrant (SW) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden, einer Lärmschutzwand und einem Lärmschutzwall.....	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Lageplanskizze 1. Quadrant (NW).....	9
Abbildung 3-2:	Lageplanskizze 2. Quadrant (NO).....	12
Abbildung 3-3:	Lageplanskizze 3. Quadrant (SO).....	14
Abbildung 3-4:	Lageplanskizze 4. Quadrant (SW).....	16

1 Aufgabenstellung

In der Ortsumgebung von Weißenburg liegt die lichtsignalgeregelte sog. Eichstätter Kreuzung im östlichen Stadtgebiet.

Die Eichstätter Kreuzung verbindet die Bundesstraße 13 (Richtung Eichstätt) und die Kreisstraße WUG 1 (Richtung Stadtzentrum Weißenburg) mit der Bundesstraße 2.

Es ist vorgesehen, die B 2 im Kreuzungsbereich in Tieflage in ein Trogbauwerk zu verlegen. Oberhalb dieser Tieflage wird ein Kreisverkehrsplatz mit beidseitigen Zu- und Abfahrtsrampen zur Verknüpfung der B 13 und der Kreisstraße WUG 1 mit der B 2 angelegt.

Die schalltechnische Untersuchung berücksichtigt den Streckenabschnitt der B 2 im Bereich des höhenfreien Umbaus der Eichstätter Kreuzung inkl. der baulichen Anpassung des Anschlusses Römerbrunnenweg von Bau-km 0-258 der B 2 bis zum Bauende bei Bau-km 0+627 der B 2. Die Anschlussäste der B 13 und der WUG 1 werden auf einer Länge von 100 m (B 13) bzw. 90 m (WUG 1) an den neuen Kreisverkehrsplatz angepasst. Die Anpassung der Anschlussäste stellt keine wesentliche Änderung dar und wird deshalb in der schalltechnischen Untersuchung nicht berücksichtigt.

Nach § 41 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [1] ist beim Bau oder bei einer wesentlichen Änderung von Schienenwegen, Straßen oder Magnetschwebebahnen sicherzustellen, dass durch diese keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche hervorgerufen werden, die nach dem Stand der Technik und mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand vermeidbar sind.

Im Rahmen der schalltechnischen Untersuchung wurde ermittelt, welche Lärmsituation aufgrund obiger Baumaßnahme zu erwarten ist und ob und in welchem Umfang die betroffenen Anwohner durch geeignete aktive und/oder passive Schallschutzmaßnahmen geschützt werden müssen.

Grundlage dieser Untersuchung ist die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) [2].

2 Grundlagen des Variantenvergleichs Schallschutz

Zur Ermittlung der notwendigen Schallschutzmaßnahmen für die B 2 im Ausbaubereich wurden Schallschutzvarianten für die Bereiche mit Grenzwertüberschreitungen berechnet. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden nach den folgenden Kriterien ausgewertet:

- Kosten für Schallschutzwände
- Gesamtkosten aktiver Schallschutz
- gelöste Schutzfälle Tag/Nacht
- Kosten je gelöster Schutzfall
- verbleibende Schutzfälle Tag/Nacht
- Schutzfälle mit Pegelüberschreitung von mehr als 70 dB(A) Tag / 60 dB(A) Nacht
- Lautheitsgewicht ohne Schallschutz
- Lautheitsgewicht mit Schallschutz
- Effektivität / Effizienz

Nachfolgend sind die Ansätze für den Variantenvergleich dargestellt und die Beurteilungsgrößen erläutert.

2.1 Kosten für den aktiven Schallschutz

Die Kosten für aktive Schallschutzmaßnahmen in Form von Schallschutzwänden wurden aus der aktuellen Statistik zum Schallschutz an Bundesfernstraßen [7] entnommen. Um der Preisbildung bis zum Jahr 2022 gerecht zu werden, wurde der zuletzt zur Verfügung stehende Jahreswert (entspricht dem Jahreswert von 2019) verwendet.

- Kosten Schallschutzwand 612,00 € / m² (nicht kapitalisiert)
- Kosten Schallschutzwand 22,00 € / m³ (nicht kapitalisiert)
- Kosten stark reflexionsmindernde Verkleidung (Trogwände) 392,00 € / m²

Diese Kosten wurden gemäß der Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung [8] kapitalisiert und die Herstellungskosten und kapitalisierten Erhaltungskosten zu einem Gesamtbetrag zusammengefasst.

2.2 Kosten für Fahrbahnbelag

Der alternative Fahrbahnbelag OPA weist eine Mindesteinbaulänge von 1 km auf, wobei 150 m am Anfang eines Einbaubereiches als Übergangsbereich keine Minderung gem. Tab. 4a der RLS-19 [4] berücksichtigt werden. Aufgrund der Kürze der Ausbaustrecke der B 2 (unter 1000 m) im Untersuchungsbereich wurde der Einbau eines OPA wegen Unterschreitung der Mindesteinbaulänge schalltechnisch nicht untersucht.

2.3 Schutzfälle und Kosten je gelöster Schutzfall

Die Auswertung erfolgte anhand der Anzahl der Schutzfälle pro Gebäude. Dabei ist jede Grenzwertüberschreitung im Tages- oder Nachtzeitraum als separater Schutzfall zu betrachten.

Im Rahmen einer ausführlichen Ortsbesichtigung wurde die Anzahl der Wohneinheiten in den betroffenen Gebäuden ermittelt. Je Wohneinheit können bis zu zwei Schutzfälle (einer am Tag / einer in der Nacht) auftreten.

Bei den Kosten je gelöster Schutzfall werden die Gesamtkosten des aktiven Schallschutzes (Wand/Wall) durch die Gesamtanzahl der gelösten Schutzfälle dividiert. Die Verhältnismäßigkeit dieses Betrages ist zu untersuchen.

2.4 Lautheitsgewicht

Das Lautheitsgewicht wird in den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, Ausgabe 1997 (EWS), zur Bewertung von Lärmbelastungen verwendet. Anstelle des dort verwendeten Zielpegels wird hier der Immissionsgrenzwert (IGW) eingesetzt. Damit lässt sich das Lautheitsgewicht eines Schutzfalles nach der Formel

$$LGW = \sum_n (2^{0,1 \cdot L_r^n} - 2^{0,1 \cdot IGW}) \text{ für } L_r^n > IGW$$

mit L_r^n - Beurteilungspegel am n-ten Immissionsort

n - Anzahl der Immissionsorte mit Grenzwertüberschreitung

IGW - Immissionsgrenzwert der 16. BImSchV

bestimmen, wobei L_r für den in der Variante berechneten Beurteilungspegel am Immissionsort steht. Wenn der Beurteilungspegel den geltenden IGW nicht überschreitet, wird das Lautheitsgewicht per Definition auf 0 gesetzt. Bei einer Zunahme der Geräuschbelastung oberhalb des IGW um 10 dB(A), also bei einer Verdoppelung der wahrgenommenen Lautstärke, verdoppelt sich auch das Lautheitsgewicht.

2.5 Effektivität / Effizienz der Schallschutzmaßnahme

Die Effektivität ist eine Größe, die sowohl die Anzahl als auch die Höhe der Pegelminderungen berücksichtigt. Sie wird aus dem sog. Lautheitsgewicht mit und ohne Lärmschutz wie folgt gebildet:

$$\text{Effektivität} = \frac{LGW^{oLS} - LGW^{mLS}}{LGW^{oLS}}$$

mit

LGW^{oLS} – Lautheitsgewicht ohne Lärmschutz

LGW^{mLS} – Lautheitsgewicht mit Lärmschutz

Die Effizienz umfasst die Minderung des Lautheitsgewichts im Verhältnis zu den Kosten der untersuchten Schallschutzmaßnahme.

$$\text{Effizienz} = \frac{LGW^{oLS} - LGW^{mLS}}{\text{Kosten Schallschutz}}$$

3 Variantenvergleich Schallschutzmaßnahmen

Im Rahmen der schalltechnischen Untersuchung zum höhenfreien Umbau der Eichstätter Kreuzung in Weißenburg wurden die Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte je Quadrant untersucht.

In allen Quadranten wurden stark reflexionsmindernde Paneele an den Trogwänden mit einem Flächenanteil von ca. 10 m²/Verkleidung je Schutzfall bei den Kosten berücksichtigt.

3.1 1. Quadrant (NW)

Die geplante B 2 verläuft nordöstlich der Wohngebäude in ca. 40 m Abstand. Nach dem Bebauungsplan Nr. 28 „Südlich des Kehler Weges, zwischen der Uhlandstraße im Westen und der Umgehungsstraße im Osten“ befinden sich in dem Bereich mehrere geplante bzw. zu bauende Gebäude, die im schalltechnischen Berechnungsmodell als fiktiver Bestand berücksichtigt wurden. Der bestehende Lärmschutzwall westlich der B 2 mit einer Höhe von 7,00 m bis 8,00 m über Oberkante der Fahrbahnmitte der B 2 wurde im Berechnungsmodell berücksichtigt. Eine geplante Lärmschutzwand mit einer Höhe bis zu 3,0 m gemäß gültigem Bebauungsplan Nr. 28, die auf den bestehenden Wall gesetzt werden soll, bleibt nach Absprache mit dem Auftraggeber unberücksichtigt, da die Umsetzung der Lärmschutzwand nicht gesichert ist.

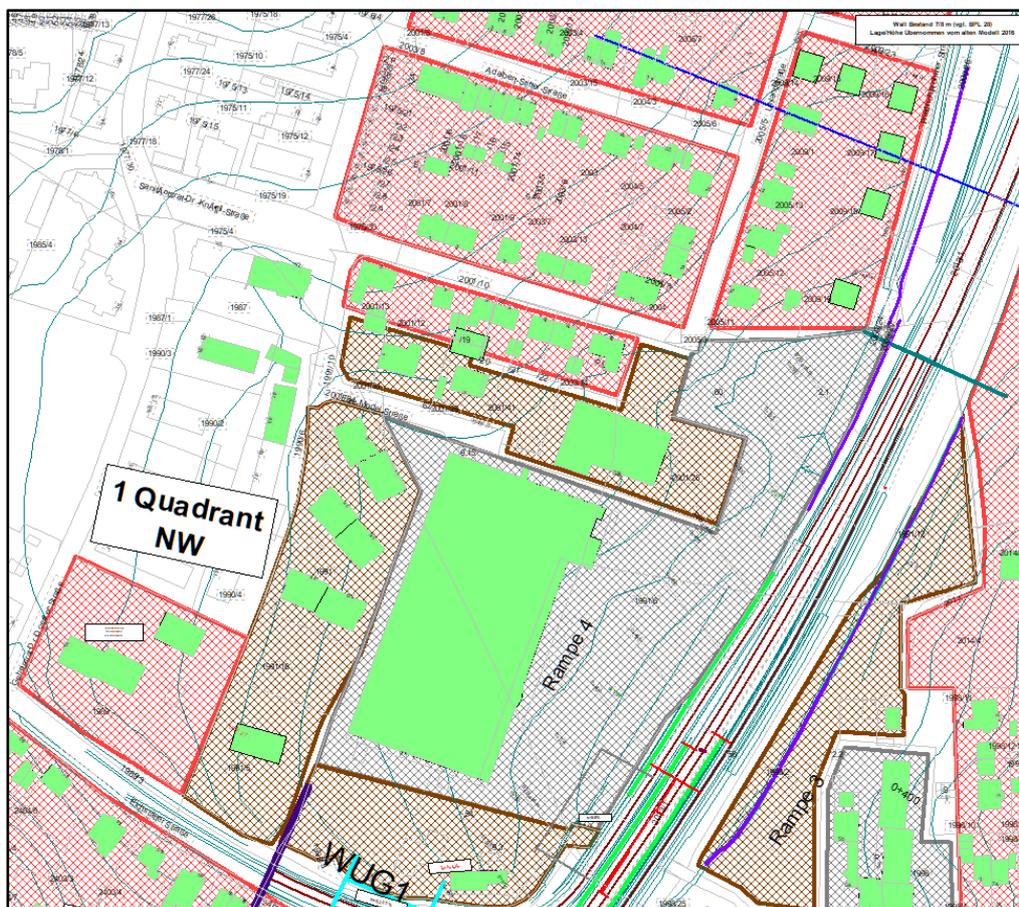


Abbildung 3-1: Lageplanskizze 1. Quadrant (NW)

Durch den Ausbau der B 2 werden die Immissionsgrenzwerte (für Wohngebiete) um bis zu 14,3 dB(A) überschritten.

Im Rahmen der Schutzfallbetrachtung sind insgesamt 13 Schutzfälle tags, 26 Schutzfälle nachts und ein Außenwohnbereich zu lösen. Beurteilungspegel von mehr als 70 dB(A) tags treten nicht auf. Beurteilungspegel von mehr als 60 dB(A) nachts aus dem Ausbau der B 2 treten an 4 Gebäuden auf.

3.1.1 Ergebnisse der Berechnung 1. Quadrant (NW)

Bei einer durchgängig 8,0 m hohen Lärmschutzwand von Bau-km 0+560 bis Bau-km 0+672, die auf den bestehenden Wall gesetzt wird, sowie einer zweiten durchgängig 8,0 m hohen Lärmschutzwand über FOK der B 2 von Bau-km 0+478 bis Bau-km 0+565 verbleiben 13 ungelöste Schutzfälle, so dass auch mit einer bis zu 16,0 m hohen Schallschutzmaßnahme kein Vollschutz realisiert werden kann. Höhere Wände zur Realisierung eines Vollschutzes wurden nicht untersucht, da diese technisch schwer umsetzbar sind.

Eine kurze Übersicht über die untersuchten Varianten findet sich in der nachfolgenden Tabelle, eine detaillierte Dokumentation der untersuchten Varianten findet sich in Tabelle 6 im Anhang.

Variante			Kosten			Bewertung			
Nr.	Beschreibung	Wandfläche	Herstellungskosten	Erhaltungskosten (kapitalisiert)	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert)	Effektivität (Anteil Minderung Lautheitsgewicht)	Effizienz (Minderung Lautheitsgewicht pro Kosten)	Summe verbleibender Schutzfälle	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert)
		[m ²]	[EUR]	[EUR]	[EUR]	[%]	[10 ⁻⁴]	[-]	[EUR]
1	2	2a	9	10	11 = 9 + 10	12 = ΔL _{GW} : ΣL _{GW}	13 = ΔL _{GW} : 11	15 = 3 + 5 + 7	16 = 11 : Δ _{SF}
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	-	-	-	-	40	-
1	max. Höhe - 2 m	392.0	239 904	135 401	375 305	18.6	0.3	36	93 826
2	max. Höhe - 3 m	588.0	359 856	203 101	562 957	35.3	0.4	30	56 296
3	max. Höhe - 4 m	784.0	479 808	270 801	750 609	50.4	0.4	24	46 913
4	max. Höhe - 5 m	980.0	599 760	338 502	938 262	62.6	0.4	19	44 679
5	max. Höhe - 6 m	1176.0	719 712	406 202	1 125 914	69.5	0.4	16	46 913
6	max. Höhe - 7 m	1372.0	839 664	473 903	1 313 567	73.7	0.3	14	50 522
7	max. Höhe - 8 m	1568.0	959 616	541 603	1 501 219	75.4	0.3	13	55 601

Tabelle 1: Untersuchte Schallschutzvarianten für 1.Quadrant (NW) mit zwei gleich hohen Lärmschutzwänden

Zusätzlich zu den aktiven Schallschutzmaßnahmen in diesem Bereich wurde auch eine stark reflexionsmindernde Verkleidung für die Trogwände bzw. entsprechende Paneele untersucht. Eine kurze Übersicht über die Ergebnisse findet sich in der nachfolgenden Tabelle, eine detaillierte Dokumentation der untersuchten Varianten findet sich in Tabelle 7 im Anhang.

Variante				Kosten			Bewertung				
Nr.	Beschreibung	Wandfläche	Paneele	Herstellungskosten	Erhaltungskosten (kapitalisiert)	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert)	Effektivität (Anteil Minderung Lautheitsgewicht)	Effizienz (Minderung Lautheitsgewicht pro Kosten)	Verhältnismäßigkeit s-wert (effektive Effizienz)	Summe verbleibender Schutzfälle	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert)
1	2	[m ²] 2a	[m ²] 2c	[EUR] 9	[EUR] 10	[EUR] 11 = 9 + 10	[%] 12 = Δ _{L,GR} : Σ _{L,GR}	[10 ⁻⁴] 13 = Δ _{L,GR} · 11	[-] 14 = 12 · 13	[-] 15 = 3 + 5 + 7	[EUR] 16 = 11 · Δ _{EF}
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-
1	Wand max. Höhe - 2 m	392.0	400	396 704	180 777	577 481	22.8	0.2	0.06	34	96 247
2	Wand max. Höhe - 3 m	588.0	400	516 656	248 477	765 133	39.1	0.3	0.12	28	63 761
3	Wand max. Höhe - 4 m	784.0	400	636 608	316 177	952 785	54.3	0.3	0.19	22	52 933
4	Wand max. Höhe - 5 m	980.0	400	756 560	383 878	1 140 438	68.1	0.4	0.25	16	47 518
5	Wand max. Höhe - 6 m	1176.0	400	876 512	451 578	1 328 090	73.4	0.3	0.25	14	51 080
6	Wand max. Höhe - 7 m	1372.0	400	996 464	519 279	1 515 743	79.3	0.3	0.25	11	52 267
7	Wand max. Höhe - 8 m	1568.0	400	1 116 416	586 979	1 703 395	79.6	0.3	0.23	11	58 738

Tabelle 2: Untersuchte Schallschutzvarianten für 1. Quadrant (NW) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und zwei gleich hohen Lärmschutzwänden

Die Ergebnisse zeigen, dass eine 5 m bzw. 6 m hohe Schallschutzwand in Verbindung mit einer stark reflexionsmindernden Verkleidung als verhältnismäßig anzusehen ist. Die Kosten je gelöster Schutzfall sind dabei am geringsten. Da die Schallschutzwand auf einem bereits bis zu 8 m hohen Schallschutzwall verläuft, wird aus städtebaulichen Gründen für den 1. Quadranten eine 5 m hohe Schallschutzmaßnahme vorgeschlagen. Mit einer 6 m hohen Schallschutzwand werden im Vergleich nur zwei weitere Schutzfälle gelöst.

Durch eine stark reflexionsmindernde Verkleidung bzw. stark reflexionsmindernde Paneele der Trogwände in Kombination mit den zwei durchgängigen Lärmschutzwänden mit einer Höhe von 5,0 m verbleiben 16 Schutzfälle. Die Kosten je gelöster Schutzfall betragen ca. 47,5 Tsd. Euro.

3.1.2 Empfehlung für 1. Quadrant (NW)

Die 5,0 m hohe Schallschutzwand in Verbindung mit den stark reflexionsmindernden Paneelen für die Trogwände wird als Vorzugsvariante angesehen. Es verbleiben noch 16 Schutzfälle. Der dann umgesetzte Schallschutz ist als verhältnismäßig anzusehen.

Für die Gebäude mit verbleibenden Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte werden passive Schallschutzmaßnahmen dem Grunde nach vorgesehen.

3.2 2. Quadrant (NO)

Die geplante B 2 verläuft nordwestlich der Wohngebäude in ca. 55 m Abstand. Die nächstgelegenen Gebäude liegen in einem Gewerbegebiet. In ca. 140 m Abstand befinden sich Wohngebiete. In diesem Bereich befinden sich keine bestehenden Schallschutzmaßnahmen.

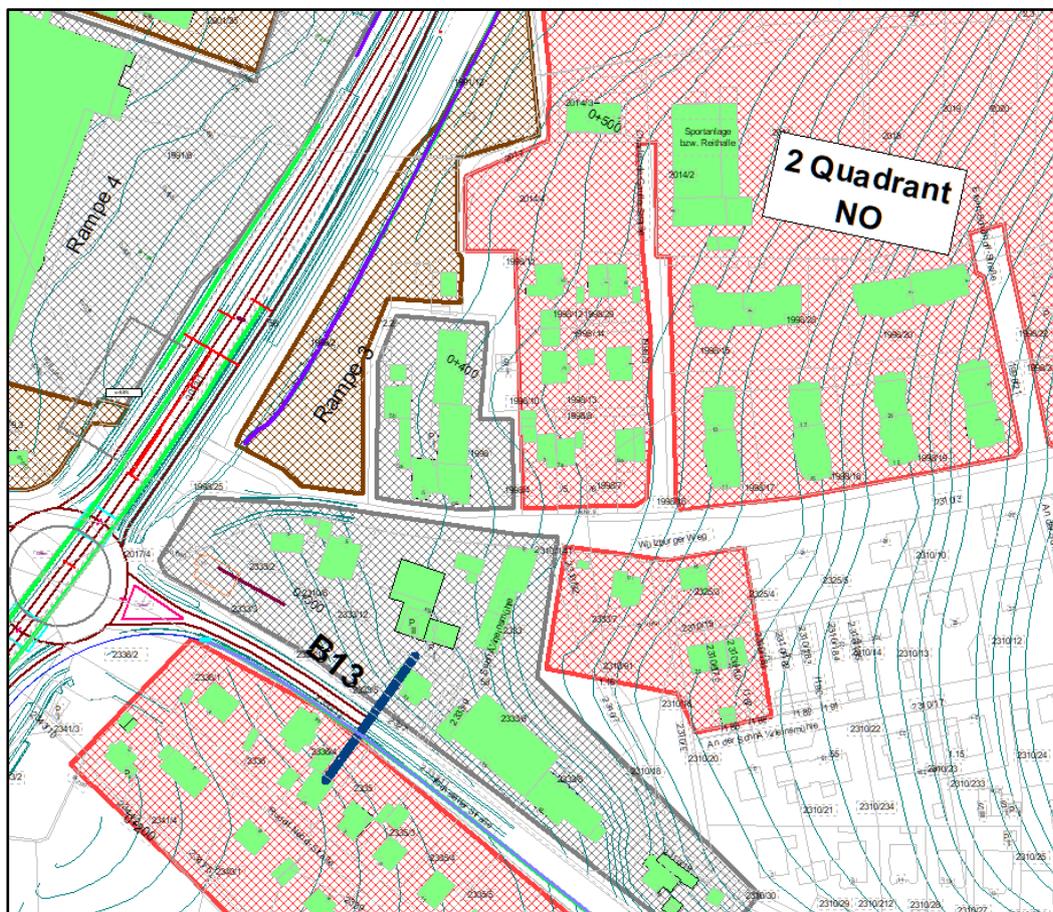


Abbildung 3-2: Lageplanskizze 2. Quadrant (NO)

Durch den Ausbau der B 2 werden die Immissionsgrenzwerte für Wohngebiete um bis zu 7,5 dB(A) im Nachtzeitraum überschritten. An den Außenwohnbereichen wird der Grenzwert im Tageszeitraum nicht überschritten. Im Rahmen der Schutzfallbetrachtung sind insgesamt 28 Schutzfälle zu lösen. Beurteilungspegel von mehr als 70 dB(A) tags bzw. 60 dB(A) nachts treten nicht auf.

Realisiert man die für den 1. Quadranten vorgesehene stark reflexionsmindernde Verkleidung an den Trogwänden, so werden bereits einen Schutzfall im Tagzeitraum und 7 Schutzfälle im Nachtzeitraum ohne weitere Schutzmaßnahmen gelöst. Aus diesem Grund wurde diese Schallschutzvariante im Variantenvergleich weiterhin verfolgt.

3.2.1. Ergebnisse der Berechnung 2. Quadrant (NO)

Eine Einhaltung der Immissionsgrenzwerte an allen maßgeblichen Immissionsorten (Vollschutz) kann im vorliegenden Fall nicht erreicht werden. Mit einer bis zu 8 m hohen Lärmschutzwand von Bau-km 0+334 bis Bau-km 0+540 verbleibt stets ein Gebäude (1 Schutzfall) mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes im Nachtzeitraum im Wohngebiet. Aufgrund steigender Kosten je gelöster Schutzfall sowie der erschwerten technischen Umsetzbarkeit wurden höhere Lärmschutzwände nicht untersucht.

Eine kurze Übersicht über die untersuchten Varianten findet sich in der nachfolgenden Tabelle, eine detaillierte Dokumentation der untersuchten Varianten findet sich in Tabelle 8 im Anhang.

Variante				Kosten			Bewertung				
Nr.	Beschreibung	Wandfläche	Paneele	Herstellungskosten	Erhaltungskosten (kapitalisiert)	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert)	Effektivität (Anteil Minderung Lautheitsgewicht)	Effizienz (Minderung Lautheitsgewicht pro Kosten)	Verhältnismäßigkeit s-wert (effektive Effizienz)	Summe verbleibender Schutzfälle	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert)
1	2	[m ²] 2a	[m ²] 2c	[EUR] 9	[EUR] 10	[EUR] 11 = 9 + 10	[%] 12 = $\Delta_{L_{\text{obj}}} : \Sigma_{L_{\text{obj}}}$	[10 ⁻⁴] 13 = $\Delta_{L_{\text{obj}}} : 11$	[-] 14 = 12 · 13	[-] 15 = 3 + 5 + 7	[EUR] 16 = 11 · Δ_{SF}
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-
1	nur Paneele	0.0	280	109 760	31 763	141 523	28.5	0.7	0.19	20	17 690
2	Wand max. Höhe - 2 m	420.0	280	366 800	176 835	543 635	45.7	0.3	0.13	16	45 303
3	Wand max. Höhe - 3 m	630.0	280	495 320	249 372	744 692	55.9	0.2	0.14	13	49 646
4	Wand max. Höhe - 4 m	840.0	280	623 840	321 908	945 748	80.2	0.3	0.23	6	42 989
5	Wand max. Höhe - 5 m	1050.0	280	752 360	394 444	1 146 804	86.9	0.3	0.22	4	47 783
6	Wand max. Höhe - 6 m	1260.0	280	880 880	466 980	1 347 860	96.8	0.2	0.23	1	49 921
7	Wand max. Höhe - 7 m	1470.0	280	1 009 400	539 516	1 548 916	96.8	0.2	0.20	1	57 367
8	Wand max. Höhe - 8 m	1680.0	280	1 137 920	612 052	1 749 972	96.8	0.2	0.18	1	64 814

Tabelle 3: Untersuchte Schallschutzvarianten für 2. Quadrant (NO) mit stark reflektionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und einer Lärmschutzwand

3.2.2. Empfehlung für 2. Quadrant (NO)

Für den 2. Quadranten wird eine aktive Schallschutzmaßnahme mit 5 m Höhe über GOK und Kosten von ca. 47,8 Tsd. je Schutzfall als Vorzugslösung unter Berücksichtigung der Kosten je Schutzfall, der städtebaulichen Verträglichkeit und technischen Umsetzbarkeit, ausgewählt. Diese Lärmschutzmaßnahme wird als verhältnismäßig bewertet. Es verbleiben noch 4 Schutzfälle.

Für die Gebäude mit verbleibenden Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte werden passive Schallschutzmaßnahmen dem Grunde nach vorgesehen.

3.3 3. Quadrant (SO)

Die geplante B 2 verläuft nordwestlich der Wohngebäude in ca. 60 m Abstand. In diesem Bereich befinden sich keine bestehenden Schallschutzmaßnahmen.

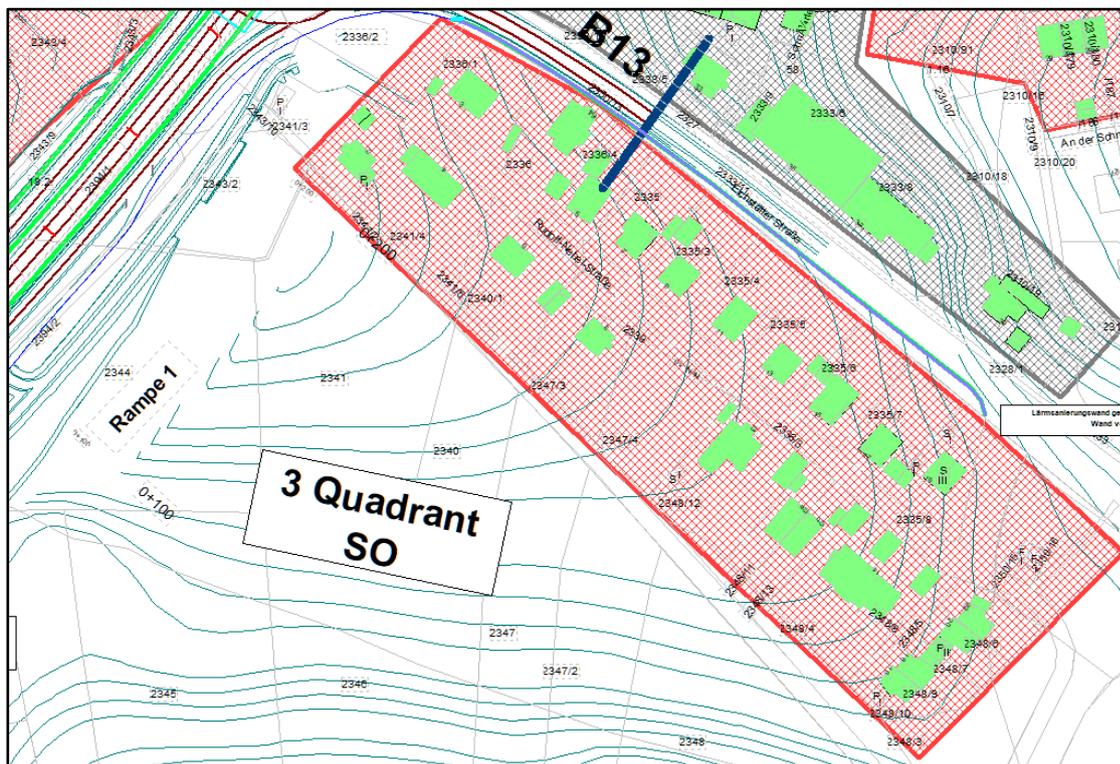


Abbildung 3-3: Lageplanskizze 3. Quadrant (SO)

Durch den Ausbau der B 2 werden die Immissionsgrenzwerte für Wohngebiete um bis zu 6,1 dB(A) im Tages- und 9,7 dB(A) im Nachtzeitraum überschritten. Im Rahmen der Schutzfallbetrachtung sind 64 Schutzfälle zu lösen. Beurteilungspegel von mehr als 70 dB(A) tags bzw. 60 dB(A) nachts aus der B 2 treten an keinen Gebäuden auf.

Wie bereits aus dem 1. Quadranten zu erkennen ist, sorgt eine stark reflexionsmindernde Verkleidung an den Trogwänden für bessere Ergebnisse im Zuge des Variantenvergleichs, so dass nach Absprache mit den Projektbeteiligten die Vorzugsvariante aus den Varianten mit stark reflexionsmindernder Verkleidung an den Trogwänden ausgewählt wird.

3.3.1. Ergebnisse der Berechnung 3. Quadrant (SO)

Die im Rahmen des Variantenvergleichs untersuchte Schallschutzwand befindet sich von Bau-km 0+143 (Rampe 1 der B 2) bis zur Abzweigung der Rudolf-Nebel-Straße an der B 13 (134 m südlich des Beginns der Baustrecke B13, hilfsweise: Bau-km 0-134). Zwischen Bau-km 0-006 bis Bau-km 0-134 der B 13 wurde ausschließlich eine 2,0 m hohe Lärmschutzwand aus einer möglichen Lärmsanierungsmaßnahme berücksichtigt. Höhere Lärmschutzwände führen in diesem Bereich zu keiner weiteren Einhaltung von Schutzfällen.

Zwischen Bau-km 0+143 der Rampe 1 der B 2 und Bau-km 0-006 der B13 wurden unterschiedliche Wandhöhen untersucht. Selbst bei einer Höhe der Lärmschutzwand von $h = 20$ m kann im vorliegenden Fall kein Vollschutz erreicht werden. Aufgrund der Höhe der Lärmschutzwand wurde diese Variante schalltechnisch nicht detaillierter untersucht, da diese Höhen technisch nur mit unverhältnismäßigem Aufwand zu realisieren sind. Im Folgenden wurden Lärmschutzvariante mit einer Wandhöhe bis 9,0 m untersucht. Höhere Lärmschutzwände wurden aufgrund der erschwerten technischen Umsetzbarkeit sowie aus städtebaulichen Gründen ausgeschlossen.

Eine kurze Übersicht über die Ergebnisse findet sich in der nachfolgenden Tabelle, eine detaillierte Dokumentation der untersuchten Varianten findet sich in Tabelle 9 im Anhang.

Nr.	Variante		Kosten			Bewertung					
	Beschreibung	Wandfläche [m ²] 2a	Paneele [m ²] 2c	Herstellungskosten [EUR] 9	Erhaltungskosten (kapitalisiert) [EUR] 10	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert) [EUR] 11 = 9 + 10	Effektivität (Anteil Minderung Lautheits- gewicht) [%] 12 = $\Delta_{L,OV} : \Sigma_{L,OV}$	Effizienz (Minderung Lautheits- gewicht pro Kosten) [10 ⁻⁴] 13 = $\Delta_{L,OV} : 11$	Verhältnis- mäßigkeit s-wert (effektive Effizienz) [-] 14 = 12 · 13	Summe verbleibend er Schutzfälle [-] 15 = 3 + 5 + 7	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert) [EUR] 16 = 11 · $\Delta_{L,OV}$
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	-	-	-	-	-	-	64	-
1	nur Paneele	0.0	640	87 040	49 126	136 166	25.0	1.6	0.40	49	9 078
2	Wand max. Höhe - 2 m	700.0	640	515 440	290 913	806 353	35.1	0.4	0.13	45	42 440
3	Wand max. Höhe - 3 m	920.0	640	650 080	366 904	1 016 984	44.2	0.4	0.17	40	42 374
4	Wand max. Höhe - 4 m	1140.0	640	784 720	442 894	1 227 614	53.2	0.4	0.20	34	40 920
5	Wand max. Höhe - 5 m	1360.0	640	919 360	518 884	1 438 244	59.8	0.4	0.22	30	42 301
6	Wand max. Höhe - 6 m	1580.0	640	1 054 000	594 874	1 648 874	66.0	0.3	0.23	26	43 391
7	Wand max. Höhe - 7 m	1800.0	640	1 188 640	670 864	1 859 504	69.3	0.3	0.23	24	46 488
8	Wand max. Höhe - 8 m	2020.0	640	1 323 280	746 855	2 070 135	69.5	0.3	0.20	24	51 753
9	Wand max. Höhe - 9 m	2240.0	640	1 457 920	822 845	2 280 765	73.2	0.3	0.20	21	53 041

Tabelle 4: Untersuchte Schallschutzvarianten für 3. Quadrant (SO) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und zwei Lärmschutzwänden

Bei Berücksichtigung einer 5 m hohen Lärmschutzwand im Bereich der B 2 und einer 2 m hohen Lärmschutzwand im Bereich der B 13 in Kombination mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden verbleiben 30 ungelöste Schutzfälle. Die Kosten je gelöster Schutzfall sind mit ca. 42,3 Tsd. Euro als verhältnismäßig anzusehen.

3.3.2. Empfehlung für 3. Quadrant (SO)

Es wurde eine 5 m hohe Schallschutzwand im Bereich der B 2 und eine 2 m hohe Schallschutzwand im Bereich der B 13 in Verbindung mit stark reflexionsmindernder Verkleidung an den Trogwänden als Vorzugslösung unter Berücksichtigung der Kosten je Schutzfall, der städtebaulichen Verträglichkeit und technischen Umsetzbarkeit, ausgewählt.

Diese Maßnahmen mit Kosten von 42,3 Tsd. € je Schutzfall sind als verhältnismäßig anzusehen. Es verbleiben noch 30 Schutzfälle.

Für die Gebäude mit verbleibenden Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte werden passive Schallschutzmaßnahmen dem Grunde nach vorgesehen.

3.4 4. Quadrant (SW)

Die B 2 verläuft südöstlich der Wohngebäude in ca. 30 m Abstand. In diesem Bereich befinden sich keine bestehenden Schallschutzmaßnahmen.

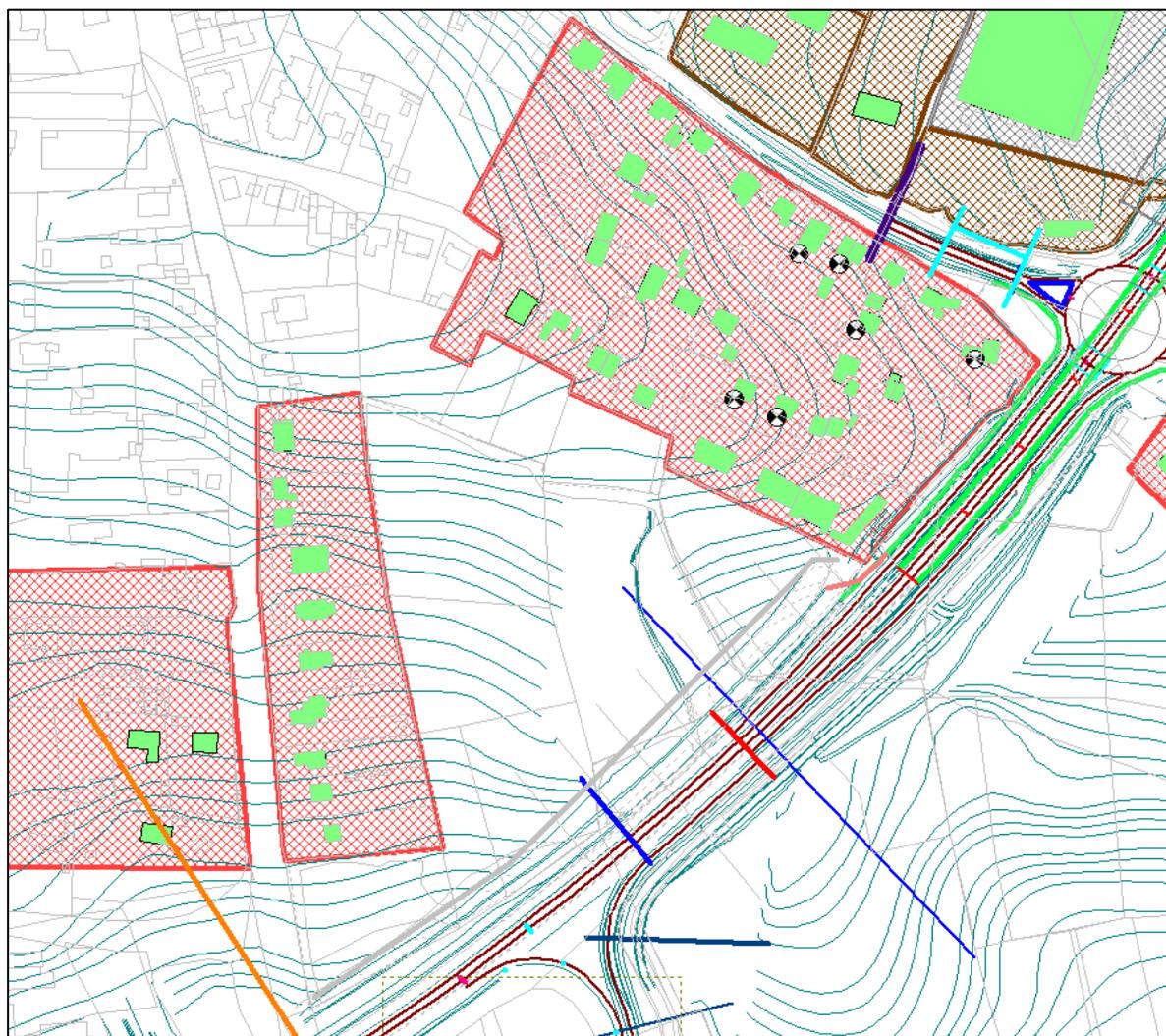


Abbildung 3-4: Lageplanskizze 4. Quadrant (SW)

Durch den Ausbau der B 2 werden die Immissionsgrenzwerte (für Wohngebiete) um bis zu 13,5 dB(A) im Nachtzeitraum und bis zu 9,7 dB(A) im Tageszeitraum überschritten. An zwei Außenwohnbereichen wird der Immissionsgrenzwert der 16. BImSchV im Tageszeitraum überschritten. Im Rahmen der Schutzfallbetrachtung sind 116 Schutzfälle zu lösen. Beurteilungspegel von mehr als 70 dB(A) tags bzw. 60 dB(A) nachts treten an keinem Gebäude im Tageszeitraum und an 2 Gebäuden im Nachtzeitraum auf.

Wie bereits aus dem 1. Quadranten zu erkennen ist, sorgt eine stark reflexionsmindernde Verkleidung an den Trogwänden für bessere Ergebnisse im Zuge des Variantenvergleichs, so dass die Vorzugsvariante aus den Varianten mit stark reflexionsmindernder Verkleidung ausgewählt wird.

3.4.1. Ergebnisse 4. Quadrant (SW)

Bei einer 8,0 m hohen Lärmschutzwand und einem 5,0 m hohen Lärmschutzwall verbleiben 11 ungelöste Schutzfälle, so dass mit einer bis zu 11,0 m hohen Lärmschutzwand kein Vollschutz realisiert werden kann. Höhere Wände zur Realisierung eines Vollschutzes wurden nicht untersucht, da diese technisch und realistisch nicht umsetzbar sind.

Eine kurze Übersicht über die Ergebnisse findet sich in der nachfolgenden Tabelle, eine detaillierte Dokumentation der untersuchten Varianten findet sich in Tabelle 10 im Anhang.

Variante				Kosten			Bewertung				
Nr.	Beschreibung	Wandfläche [m ²] 2a	Wallvolumen [m ³] 2b	Paneele [m ²] 2c	Herstellungskosten [EUR] 9	Erhaltungskosten (kapitalisiert) [EUR] 10	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert) [EUR] 11 = 9 + 10	Effektivität (Anteil Minderung Lautheits- gewicht) [%] 12 = Δ _{ges} : Σ _{ges}	Effizienz (Minderung Lautheits- gewicht pro Kosten) [10 ⁻¹] 13 = Δ _{ges} : 11	Summe verbleibender Schutzfälle [·] 15 = 3 + 5 + 7	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert) [EUR] 16 = 11 · Δ _{ges}
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	-	-	-	-	-	-	116	-
1	Wall 5m über FOK B 2 Wand 3m über GOK (entlang der Rampe 2)	570,0	14365,0	1160	1 119 590	344 276	1 463 866	75,8	0,9	32	17 427
2	Wall 5m über FOK B 2 Wand 4m über GOK (entlang der Rampe 2)	760,0	14365,0	1160	1 235 870	409 904	1 645 774	81,7	0,8	25	18 085
3	Wall 5m über FOK B 2 Wand 5m über GOK (entlang der Rampe 2)	950,0	14365,0	1160	1 352 150	475 531	1 827 681	84,0	0,8	22	19 443
4	Wall 5m über FOK B 2 Wand 6m über GOK (entlang der Rampe 2)	1140,0	14365,0	1160	1 468 430	541 159	2 009 589	86,8	0,7	18	20 506
5	Wall 5m über FOK B 2 Wand 7m über GOK (entlang der Rampe 2)	1330,0	14365,0	1160	1 584 710	606 787	2 191 497	89,4	0,7	14	21 485
6	Wall 5m über FOK B 2 Wand 8m über GOK (entlang der Rampe 2)	1520,0	14365,0	1160	1 700 990	672 415	2 373 405	91,4	0,6	11	22 604
7	Wall 5m über FOK B 2 Wand 9m über GOK (entlang der Rampe 2)	1710,0	14365,0	1160	1 817 270	738 043	2 555 313	91,4	0,6	11	24 336
8	Wall 5m über FOK B 2 Wand 10m über GOK (entlang der Rampe 2)	1900,0	14365,0	1160	1 933 550	803 671	2 737 221	91,4	0,6	11	26 069
9	Wall 5m über FOK B 2 Wand 11m über GOK (entlang der Rampe 2)	2090,0	14365,0	1160	2 049 830	869 299	2 919 129	91,4	0,5	11	27 801

Tabelle 5: Untersuchte Schallschutzvarianten für 4. Quadrant (SW) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden, einer Lärmschutzwand und einem Lärmschutzwall

Die Ergebnisse für die Gebäude im 4. Quadranten zeigen, dass alle untersuchten Varianten als verhältnismäßig angesehen werden können. Lärmschutzwände über 8 m können aufgrund der steigenden Kosten je Schutzfall bei gleichbleibender Anzahl der verbleibenden Schutzfälle ausgeschlossen werden.

Bei Berücksichtigung einer 5 m hohen Lärmschutzwand und eines 5 m hohen Lärmschutzwalls in Kombination mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden verbleiben 22 ungelöste Schutzfälle. Die Kosten je gelöster Schutzfall betragen 19,4 Tsd. €.

3.4.2. Empfehlung für 4. Quadrant (SW)

Für die Gebäude im 4. Quadranten wird eine 5 m hohe Lärmschutzwand und ein 5 m hoher Lärmschutzwall in Kombination mit stark reflexionsmindernder Verkleidung an den Trogwänden als Vorzugslösung unter Berücksichtigung der Kosten je Schutzfall, der städtebaulichen Verträglichkeit und der technischen Umsetzbarkeit ausgewählt. Der umgesetzte Schallschutz ist als verhältnismäßig anzusehen.

Für die Gebäude mit verbleibenden Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte werden passive Schallschutzmaßnahmen dem Grunde nach vorgesehen.

4 Vorgeschlagene Schallschutzmaßnahmen für B 2

Die Prüfung aktiver Schallschutzmaßnahmen ergab, dass eine stark reflexionsmindernde Verkleidung der Trogwände als verhältnismäßig anzusehen ist.

Weiter werden nachfolgende Schallschutzmaßnahmen empfohlen:

1. Quadrant: zwei 5 m hohe Lärmschutzwände
 - von Bau-km 0+560 der B 2 bis Bau-km 0+672 der B 2 (5m über Böschungsoberkante (BOK) des bestehenden Lärmschutzwalls)
 - von Bau-km 0+478 der B 2 bis Bau-km 0+565 der B 2 (5 m über FOK)
2. Quadrant: eine 5 m hohe Lärmschutzwand über GOK von Bau-km 0+334 bis Bau-km 0+540
3. Quadrant: eine 5 m hohe Lärmschutzwand über GOK von Bau-km 0+143 der Rampe 1 bis Bau-km 0-006 der B 13, eine 2 m hohe Lärmschutzwand über GOK von Bau-km 0-006 der B 13 bis zur Abzweigung der Rudolf-Nebel-Straße an der B 13 (134 m südlich des Beginns der Baustrecke B13, hilfsweise: Bau-km 0-134).
4. Quadrant: eine 5 m hohe Lärmschutzwand über GOK von Bau-km 0+083 der B 2 bis Bau-km 0+056 der WUG 1 (bis zur ersten Zufahrt der WUG 1) und ein 5 m hoher Lärmschutzwall über FOK der B 2 von Bau-km 0-258 bis Bau-km 0+078 der B 2

Für Gebäude, bei welchen aktive Maßnahmen nicht verhältnismäßig erscheinen bzw. trotz aktiver Schallschutzmaßnahmen die Immissionsgrenzwerte weiterhin überschritten werden, werden passive Schallschutzmaßnahmen dem Grund nach vorgesehen.

Aufgestellt:

München, den 15.02.2023

Obermeyer Infrastruktur GmbH & Co. KG

gez. i.V. Dipl.-Ing. (FH) M. Schweiger

gez. i.A. A. Griebel, M.Sc.

Anhang 1: Herstellungskosten aktive Schallschutzmaßnahmen

Ermittlung der Einheitspreise für Herstellungskosten

lfd.Nr.	Bauteil	Menge	EP Neubau	Baustellen- einrichtung	Verkehrs- sicherung	Verwaltungs- kosten	Herstellungs- kosten netto	Mehrwertsteuer	Herstellungs- kosten brutto
		ME	EUR / ME	EUR	EUR	EUR / ME	EUR	EUR	EUR
1	2	3	4	5 = 5% · 4	6	7 = 10% · (4+5+6)	8 = 4+5+6+7	9 = 19% · 8	10 = 8 + 9
1	Lärmschutzwand	1 m ²	445.27	22.26	0.00	46.75	514.28	97.71	612.00*
2	Lärmschutzwall	1 m ³	16.01	0.80	0.00	1.68	18.49	3.51	22.00*
3	stark reflexionsmindernde Verkleidung	1 m ²	285.20	14.26	0.00	29.95	329.41	62.59	392.00*

* Entspricht der "Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2017-2019" (Jahreswert 2019)

Es ist stets auf die Aktualität der angesetzten Einheitspreise zu achten.

Alle Angaben sind bezogen auf die örtliche Situation (bzw. Einzelfall) abzustellen.

Anhang 2: Erhaltungskosten aktive Schallschutzmaßnahmen

Ermittlung der Einheitspreise für kapitalisierte Erhaltungskosten E in Anlehnung an die Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung (ABBV)

$E = \frac{1 + \frac{z}{100} \cdot m \cdot n}{1 + \frac{z}{100}} \cdot K_e + \frac{p}{z} \cdot K_u$ <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>bei $m = n$ und $z = 4\%$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>ergibt sich $E = \frac{1,04^0}{1,04^m - 1} \cdot K_e + \frac{p}{4} \cdot K_u = \frac{1}{1,04^m - 1} \cdot K_e + \frac{p}{4} \cdot K_u$</p> </div> </div>												
lfd. Nr.	Bauteil	m = n	p	Herstellungskosten (brutto)	Kosten für Abbruch	Ke = Ku (Herst.-Kosten + Abbruch)	1,04 ^m	1 / (1,04 ^m - 1)	p / 4	1 / (1,04 ^m - 1) · Ke	p / 4 · Ku	E
		Jahre	%	EUR	EUR	EUR				EUR	EUR	EUR
1	1a	2	3	4	5	6 = 4 + 5	7	8	9	10 = 8 · 6	11 = 9 · 6	12 = 10 + 11
1	Lärmschutzwand	40	1.0	612.00	61.20	673.20	4.801	0.263	0.250	177.11	168.30	345.41
2	Lärmschutzwall	80	0.0	22.00	2.20	24.20	23.050	0.045	0.000	1.10	0.00	1.10
3	stark reflexionsmindernde Verkleidung	40	0.0	392.00	39.20	431.20	4.801	0.263	0.000	113.44	0.00	113.44

- E Kapitalisierte Erhaltungskosten
- Ke Erneuerungskosten der baulichen Anlage
- Ku Kosten der baulichen Anlage, die der Ermittlung der kapitalisierten Unterhaltungskosten zugrunde zu legen sind
- z Zinssatz der Kapitalisierung
- m Theoretische Nutzungsdauer der fiktiven baulichen Anlage
- n Restnutzungsdauer: Anzahl der Jahre vom Zeitpunkt der Fälligkeit der Ablösung bis zur nächsten fälligen theoretischen Erneuerung der alten vorhandenen baulichen Anlage
- p Jährliche Unterhaltungskosten der fiktiven baulichen Anlage in Hundertteilen der Kosten Ku

Anhang 3: Detaillierte Dokumentation – Variantenvergleich B 2

Variante			Betroffenheiten						Kosten			Bewertung				
Nr.	Beschreibung	Wandfläche [m ²]	Wohneinheiten Tag		Wohneinheiten Nacht		Außenwohnbereiche		Herstellungskosten [EUR]	Erhaltungskosten (kapitalisiert) [EUR]	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert) [EUR]	Effektivität (Anteil Minderung Lautheits- gewicht) [%]	Effizienz (Minderung Lautheits- gewicht pro Kosten) [10 ⁻⁴]	Verhältnis- mäßigkeit s-wert (effektive Effizienz) [-]	Summe verbleibender Schutzfälle [-]	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert) [EUR]
			verbleibende Schutzfälle 3	Lautheits- gewicht 4 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}	verbleibende Schutzfälle 5	Lautheits- gewicht 6 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}	verbleibende Schutzfälle 7	Lautheits- gewicht 8 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}								
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	13	19.56	26	40.56	1	1.15	-	-	-	-	-	-	40	-
1	max. Höhe - 2 m	392.0	10	13.55	25	35.17	1	1.15	239 904	135 401	375 305	18.6	0.3	0.06	36	93 826
2	max. Höhe - 3 m	588.0	7	9.09	22	29.47	1	1.07	359 856	203 101	562 957	35.3	0.4	0.14	30	56 296
3	max. Höhe - 4 m	784.0	4	5.08	20	25.29	-	-	479 808	270 801	750 609	50.4	0.4	0.21	24	46 913
4	max. Höhe - 5 m	980.0	2	2.39	17	20.52	-	-	599 760	338 502	938 262	62.6	0.4	0.26	19	44 679
5	max. Höhe - 6 m	1176.0	2	2.14	14	16.56	-	-	719 712	406 202	1 125 914	69.5	0.4	0.26	16	46 913
6	max. Höhe - 7 m	1372.0	1	1.07	13	15.06	-	-	839 664	473 903	1 313 567	73.7	0.3	0.25	14	50 522
7	max. Höhe - 8 m	1568.0	1	1.07	12	13.99	-	-	959 616	541 603	1 501 219	75.4	0.3	0.23	13	55 601

Tabelle 6: Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 1. Quadrant (NW) mit zwei gleich hohen Lärmschutzwänden

Variante				Betroffenheiten						Kosten			Bewertung				
Nr.	Beschreibung	Wandfläche [m ²]	Paneele [m ²]	Wohneinheiten Tag		Wohneinheiten Nacht		Außenwohnbereiche		Herstellungskosten [EUR]	Erhaltungskosten (kapitalisiert) [EUR]	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert) [EUR]	Effektivität (Anteil Minderung Lautheits- gewicht) [%]	Effizienz (Minderung Lautheits- gewicht pro Kosten) [10 ⁻⁴]	Verhältnis- mäßigkeit s-wert (effektive Effizienz) [-]	Summe verbleibender Schutzfälle [-]	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert) [EUR]
				verbleibende Schutzfälle 3	Lautheits- gewicht 4 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}	verbleibende Schutzfälle 5	Lautheits- gewicht 6 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}	verbleibende Schutzfälle 7	Lautheits- gewicht 8 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}								
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	13	19.56	26	40.56	1	1.15	-	-	-	-	-	-	40	-
1	Wand max. Höhe - 2 m	392.0	400	10	13.47	23	32.69	1	1.15	396 704	180 777	577 481	22.8	0.2	0.06	34	96 247
2	Wand max. Höhe - 3 m	588.0	400	6	8.02	21	28.23	1	1.07	516 656	248 477	765 133	39.1	0.3	0.12	28	63 761
3	Wand max. Höhe - 4 m	784.0	400	4	5.08	18	22.91	-	-	636 608	316 177	952 785	54.3	0.3	0.19	22	52 933
4	Wand max. Höhe - 5 m	980.0	400	2	2.39	14	17.14	-	-	756 560	383 878	1 140 438	68.1	0.4	0.25	16	47 518
5	Wand max. Höhe - 6 m	1176.0	400	2	2.14	12	14.17	-	-	876 512	451 578	1 328 090	73.4	0.3	0.25	14	51 080
6	Wand max. Höhe - 7 m	1372.0	400	1	1.07	10	11.60	-	-	996 464	519 279	1 515 743	79.3	0.3	0.25	11	52 267
7	Wand max. Höhe - 8 m	1568.0	400	1	1.07	10	11.44	-	-	1 116 416	586 979	1 703 395	79.6	0.3	0.23	11	58 738

Tabelle 7: Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 1. Quadrant (NW) mit stark reflexionmindernden Paneelen an den Trogwänden und zwei gleich hohen Lärmschutzwänden

Variante				Betroffenheiten						Kosten			Bewertung				
Nr.	Beschreibung	Wandfläche [m2] 2a	Paneele [m2] 2c	Wohneinheiten Tag		Wohneinheiten Nacht		Außenwohnbereiche		Herstellungskosten [EUR] 9	Erhaltungskosten (kapitalisiert) [EUR] 10	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert) [EUR] 11 = 9 + 10	Effektivität (Anteil Minderung Lautheits- gewicht) [%] 12 = $\Delta_{LGW} : \Sigma_{LGW}$	Effizienz (Minderung Lautheits- gewicht pro Kosten) [10 ⁻⁴] 13 = $\Delta_{LGW} : 11$	Verhältnis- mäßigkeit- wert (effektive Effizienz) [-] 14 = 12 · 13	Summe verbleibender Schutzfälle [-] 15 = 3 + 5 + 7	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert) [EUR] 16 = 11 : Δ_{SF}
				verbleibende Schutzfälle 3	Lautheits- gewicht 4 = $2^{0,1 \cdot (L-HGW)}$	verbleibende Schutzfälle 5	Lautheits- gewicht 6 = $2^{0,1 \cdot (L-HGW)}$	verbleibende Schutzfälle 7	Lautheits- gewicht 8 = $2^{0,1 \cdot (L-HGW)}$								
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	3	3.45	25	29.74	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-
1	nur Paneele	0.0	280	2	2.31	18	21.43	-	-	109 760	31 763	141 523	28.5	0.7	0.19	20	17 690
2	Wand max. Höhe - 2 m	420.0	280	1	1.07	15	16.95	-	-	366 800	176 835	543 635	45.7	0.3	0.13	16	45 303
3	Wand max. Höhe - 3 m	630.0	280	0	0.00	13	14.64	-	-	495 320	249 372	744 692	55.9	0.2	0.14	13	49 646
4	Wand max. Höhe - 4 m	840.0	280	0	0.00	6	6.59	-	-	623 840	321 908	945 748	80.2	0.3	0.23	6	42 989
5	Wand max. Höhe - 5 m	1050.0	280	0	0.00	4	4.36	-	-	752 360	394 444	1 146 804	86.9	0.3	0.22	4	47 783
6	Wand max. Höhe - 6 m	1260.0	280	0	0.00	1	1.07	-	-	880 880	466 980	1 347 860	96.8	0.2	0.23	1	49 921
7	Wand max. Höhe - 7 m	1470.0	280	0	0.00	1	1.07	-	-	1 009 400	539 516	1 548 916	96.8	0.2	0.20	1	57 367
8	Wand max. Höhe - 8 m	1680.0	280	0	0.00	1	1.07	-	-	1 137 920	612 052	1 749 972	96.8	0.2	0.18	1	64 814

Tabelle 8: Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 2. Quadrant (NO) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und einer Lärmschutzwand

Variante				Betroffenheiten						Kosten			Bewertung				
Nr.	Beschreibung	Wandfläche [m ²] 2a	Paneele [m ²] 2c	Wohneinheiten Tag		Wohneinheiten Nacht		Außenwohnbereiche		Herstellungskosten [EUR] 9	Erhaltungskosten (kapitalisiert) [EUR] 10	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert) [EUR] 11 = 9 + 10	Effektivität (Anteil Minderung Lautheits- gewicht) [%] 12 = $\Delta_{L_{GW}} : \Sigma_{L_{GW}}$	Effizienz (Minderung Lautheits- gewicht pro Kosten) [10 ⁻⁴] 13 = $\Delta_{L_{GW}} : 11$	Verhältnis- mäßigkeit- wert (effektive Effizienz) [-] 14 = 12 · 13	Summe verbleibender Schutzfälle [-] 15 = 3 + 5 + 7	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert) [EUR] 16 = 11 : Δ_{SF}
				verbleibende Schutzfälle 3	Lautheits- gewicht 4 = $2^{0,1 \cdot (L-I_{GW})}$	verbleibende Schutzfälle 5	Lautheits- gewicht 6 = $2^{0,1 \cdot (L-I_{GW})}$	verbleibende Schutzfälle 7	Lautheits- gewicht 8 = $2^{0,1 \cdot (L-I_{GW})}$								
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	21	27.35	43	59.89	-	-	-	-	-	-	-	64	-	
1	nur Paneele	0.0	640	14	17.84	35	47.61	-	-	87 040	49 126	136 166	25.0	1.6	0.40	49	9 078
2	Wand max. Höhe - 2 m	700.0	640	12	14.30	33	42.32	-	-	515 440	290 913	806 353	35.1	0.4	0.13	45	42 440
3	Wand max. Höhe - 3 m	920.0	640	8	9.05	32	39.65	-	-	650 080	366 904	1 016 984	44.2	0.4	0.17	40	42 374
4	Wand max. Höhe - 4 m	1140.0	640	4	4.44	30	36.37	-	-	784 720	442 894	1 227 614	53.2	0.4	0.20	34	40 920
5	Wand max. Höhe - 5 m	1360.0	640	2	2.14	28	32.97	-	-	919 360	518 884	1 438 244	59.8	0.4	0.22	30	42 301
6	Wand max. Höhe - 6 m	1580.0	640	0	0.00	26	29.67	-	-	1 054 000	594 874	1 648 874	66.0	0.3	0.23	26	43 391
7	Wand max. Höhe - 7 m	1800.0	640	0	0.00	24	26.76	-	-	1 188 640	670 864	1 859 504	69.3	0.3	0.23	24	46 488
8	Wand max. Höhe - 8 m	2020.0	640	0	0.00	24	26.61	-	-	1 323 280	746 855	2 070 135	69.5	0.3	0.20	24	51 753
9	Wand max. Höhe - 9 m	2240.0	640	0	0.00	21	23.40	-	-	1 457 920	822 845	2 280 765	73.2	0.3	0.20	21	53 041

Tabelle 9: Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 3. Quadrant (SO) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden und zwei Lärmschutzwänden

Variante				Betroffenheiten						Kosten			Bewertung				
Nr.	Beschreibung	Wandfläche [m2] 2a	Paneele [m2] 2c	Wohneinheiten Tag		Wohneinheiten Nacht		Außenwohnbereiche		Herstellungskosten [EUR] 9	Erhaltungskosten (kapitalisiert) [EUR] 10	Kosten des aktiven Schallschutzes (kapitalisiert) [EUR] 11 = 9 + 10	Effektivität (Anteil Minderung Lautheits- gewicht) [%] 12 = $\Delta_{L,GW} : \Sigma_{L,GW}$	Effizienz (Minderung Lautheits- gewicht pro Kosten) [10 ⁻⁴] 13 = $\Delta_{L,GW} : 11$	Verhältnis- mäßigkeit- wert (effektive Effizienz) [-] 14 = 12 · 13	Summe verbleibender Schutzfälle [-] 15 = 3 + 5 + 7	Kosten pro Schutzfall (kapitalisiert) [EUR] 16 = 11 : Δ_{SF}
				verbleibende Schutzfälle 3	Lautheits- gewicht 4 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}	verbleibende Schutzfälle 5	Lautheits- gewicht 6 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}	verbleibende Schutzfälle 7	Lautheits- gewicht 8 = 2 ^{0,1 · (L-HGW)}								
0	Ohne aktiven Lärmschutz	-	-	38	52.45	76	112.64	2	2.77	-	-	-	-	-	-	116	-
1	Wall 5m über FOK B 2 Wand 3m über GOK (entlang der Rampe 2)	570.0	1160	7	8.84	25	31.74	-	-	1 119 590	344 276	1 463 866	75.8	0.9	0.66	32	17 427
2	Wall 5m über FOK B 2 Wand 4m über GOK (entlang der Rampe 2)	760.0	1160	6	6.91	19	23.81	-	-	1 235 870	409 904	1 645 774	81.7	0.8	0.68	25	18 085
3	Wall 5m über FOK B 2 Wand 5m über GOK (entlang der Rampe 2)	950.0	1160	6	6.91	16	19.90	-	-	1 352 150	475 531	1 827 681	84.0	0.8	0.65	22	19 443
4	Wall 5m über FOK B 2 Wand 6m über GOK (entlang der Rampe 2)	1140.0	1160	6	6.91	12	15.20	-	-	1 468 430	541 159	2 009 589	86.8	0.7	0.63	18	20 506
5	Wall 5m über FOK B 2 Wand 7m über GOK (entlang der Rampe 2)	1330.0	1160	3	3.69	11	14.13	-	-	1 584 710	606 787	2 191 497	89.4	0.7	0.61	14	21 485
6	Wall 5m über FOK B 2 Wand 8m über GOK (entlang der Rampe 2)	1520.0	1160	3	3.69	8	10.71	-	-	1 700 990	672 415	2 373 405	91.4	0.6	0.59	11	22 604
7	Wall 5m über FOK B 2 Wand 9m über GOK (entlang der Rampe 2)	1710.0	1160	3	3.69	8	10.71	-	-	1 817 270	738 043	2 555 313	91.4	0.6	0.55	11	24 336
8	Wall 5m über FOK B 2 Wand 10m über GOK (entlang der Rampe 2)	1900.0	1160	3	3.69	8	10.71	-	-	1 933 550	803 671	2 737 221	91.4	0.6	0.51	11	26 069
9	Wall 5m über FOK B 2 Wand 11m über GOK (entlang der Rampe 2)	2090.0	1160	3	3.69	8	10.71	-	-	2 049 830	869 299	2 919 129	91.4	0.5	0.48	11	27 801

Tabelle 10: Detaillierte Dokumentation der Schallschutzvarianten für 4. Quadrant (SW) mit stark reflexionsmindernden Paneelen an den Trogwänden, einer Lärmschutzwand und einem Lärmschutzwall