



SCHLUSSBERICHT – 15.11.2018

Index zur wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI) von Lärm- schutzmassnahmen

Sensitivitätsanalyse und Empfehlungen zur
Revision

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan / Sinus AG
Titel: Index zur wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI) von Lärmschutzmassnahmen
Untertitel: Sensitivitätsanalyse und Empfehlungen zur Revision
Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt BAFU
Ort: Altdorf / Bern / Sempach Station
Datum: 15.11.2018

Begleitgruppe

Urs Walker	Abt. Lärm & NIS, BAFU (Vorsitz)
Nina Mahler	Sekt. Flug-, Industrie- und Schiesslärm, BAFU (Projektleitung)
Claudia Zuber	GS UVEK
Christina Hürzeler	ARE
Martine Macheret	ASTRA
Maria Balmer	ASTRA
Kirk Ingold	ASTRA
Markus Chastonay	Cercle Bruit, Kt. Solothurn
Hanspeter Gloor	Cercle Bruit, Kt. Aargau
Basil Oberholzer	Sekt. Ökonomie, BAFU
Sophie Hoehn	Sekt. Strassenlärm, BAFU
Hans Bögli	Sekt. Flug-, Industrie- und Schiesslärm, BAFU
Robert Attinger	BAV
Denise Zubler	BAZL

Projektteam Ecoplan

Heini Sommer
Matthias Amacher

Projektteam Sinus

Reto Höin
Jacqueline Schmocker

Der Bericht gibt die Auffassung des Projektteams wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers bzw. der Auftraggeberin oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

ECOPLAN AG

Forschung und Beratung
in Wirtschaft und Politik

www.ecoplan.ch

Monbijoustrasse 14
CH - 3011 Bern
Tel +41 31 356 61 61
bern@ecoplan.ch

Dätwylerstrasse 25
CH - 6460 Altdorf
Tel +41 41 870 90 60
altdorf@ecoplan.ch

SINUS AG Sempach Station

Lärmschutz und Umweltplanung

www.sinusag.ch

Bahnhofstrasse 19a
CH - 6203 Sempach Station
Tel +41 41 469 40 40
sempach@sinusag.ch

Inhaltsübersicht

	Inhaltsverzeichnis	2
	Glossar / Abkürzungen	6
1	Einleitung	7
2	Ausgangslage: Aktuelle Berechnung des WTI	11
3	Untersuchte Anpassungen	19
4	Kosten von Lärmschutzmassnahmen	27
5	Lärmschutzwände: Auswirkungen der Änderungen	50
6	Lärmarme Beläge: Auswirkungen der Änderungen	78
7	Diskussion methodischer Zusatzfragen	90
8	Zusammenfassung und Empfehlungen	134
9	Anhang A – Zusätzliche Umfrageergebnisse / Fragebogen	142
10	Anhang B – Weitere Berechnungsergebnisse	148
11	Anhang C – Technische Dokumentation Fallbeispiele	163
12	Anhang D – Methoden zur Beurteilung der lärmbedingten Verkehrskosten	169
13	Anhang E – Reales Fallbeispiel «Haag» (Sennwald SG)	172
	Literaturverzeichnis	176

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Glossar / Abkürzungen	6
1 Einleitung	7
1.1 Ausgangslage.....	7
1.2 Ziel des Auftrags	7
1.3 Untersuchungsansatz und Aufbau des Berichts	8
2 Ausgangslage: Aktuelle Berechnung des WTI	11
2.1 Berechnungsvorgang	11
2.1.1 WTI.....	11
2.1.2 Effizienz.....	11
2.1.3 Effektivität.....	14
2.2 Beurteilung und Wirkung des WTI	15
3 Untersuchte Anpassungen	19
3.1 Überprüfung der Annahmen auf der Kostenseite	19
3.2 Untersuchte Anpassungen auf der Nutzenseite	20
3.2.1 Anpassung verkehrslärmbedingte Mietzinsverluste (Mietzinsnutzen)	21
3.2.2 Einbezug verkehrslärmbedingter Gesundheitskosten (Gesundheitsnutzen).....	23
3.2.3 Einfluss der Annahmen auf der Kostenseite (Investitionskosten, Kapitalzinssatz und Lebensdauer)	26
4 Kosten von Lärmschutzmassnahmen	27
4.1 Lärmschutzwände	27
4.1.1 Beschreibung der Daten	27
4.1.2 Investitionskosten.....	29
4.1.3 Betriebs- und Unterhaltskosten.....	32
4.1.4 Lebensdauer	33
4.1.5 Fazit und Handlungsbedarf	35
4.2 Lärmarme Beläge.....	37
4.2.1 Beschreibung der Daten	37
4.2.2 Investitionskosten.....	39
4.2.3 Betriebs- und Unterhaltskosten.....	43
4.2.4 Lebensdauer	43
4.2.5 Fazit und Handlungsbedarf	44
4.3 Weitere Erkenntnisse und Rückmeldungen.....	46
4.3.1 Berechnung des WTI in den letzten 5 Jahren.....	46
4.3.2 Umgang mit Ersatz vor Ablauf der Lebensdauer	47
4.3.3 Kombination von Lärmschutzwand und lärmarmen Belägen	48
4.3.4 Generelle Rückmeldungen zum WTI	48

5	Lärmschutzwände: Auswirkungen der Änderungen	50
5.1	Untersuchungsansatz und Fallbeispiele	50
5.1.1	Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI	50
5.1.2	Untersuchung anhand von Fallbeispielen	51
5.1.3	Untersuchte Fallbeispiele mit Lärmschutzwand	54
5.2	Effektivität der Fallbeispiele	55
5.3	Auswirkung der neuen Annahmen auf der Nutzenseite	57
5.3.1	Einfluss der Bautiefe	57
5.3.2	Einfluss der übrigen Eigenschaften der Fallbeispiele	58
5.4	Einfluss der (neuen) Annahmen auf der Kostenseite	65
5.4.1	Einfluss der Kosten der Lärmschutzwand	66
5.4.2	Einfluss des Kapitalzinssatzes	72
5.4.3	Einfluss der Lebensdauer	75
5.5	Fazit zu Lärmschutzwänden	76
6	Lärmarme Beläge: Auswirkungen der Änderungen	78
6.1	Untersuchungsansatz und Fallbeispiele	78
6.2	Effektivität der Fallbeispiele	79
6.3	Auswirkung der neuen Annahmen auf der Nutzenseite	80
6.4	Einfluss der (neuen) Annahmen auf der Kostenseite	83
6.4.1	Einfluss der Kosten des lärmarmen Belags	83
6.4.2	Einfluss der Lebensdauer	85
6.4.3	Einfluss des Kapitalzinssatzes	87
6.5	Fazit zu lärmarmen Belägen	88
7	Diskussion methodischer Zusatzfragen	90
7.1	Methoden zur Bewertung lärmbedingter Verkehrskosten	90
7.1.1	Kurzbeschreibung der Methoden	90
7.1.2	Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Methoden	92
7.1.3	Vergleich mit anderen Methoden zur Beurteilung von Massnahmen(bündeln) ausserhalb des Verkehrsbereichs	92
7.1.4	Fazit	94
7.2	Berücksichtigung der DALY	95
7.2.1	Berechnung der DALY	95
7.2.2	Verwendungsmöglichkeiten der DALY	96
7.2.3	Fazit	99
7.3	Umgang mit Geschäftsliegenschaften	100
7.3.1	Bisheriger Umgang vs. wissenschaftliche Erkenntnisse	100
7.3.2	Bedeutung der Geschäftsliegenschaften in den Fallbeispielen	100
7.3.3	Fazit	101
7.4	Berücksichtigung der Effektivität ohne unerwünschte Auswirkungen	102
7.4.1	Problem der heutigen, multiplikativen Verknüpfung von Effizienz und Effektivität	102
7.4.2	Lösungsvorschlag: Addition eines «Effektivitätszuschlag»	103
7.4.3	Fazit	104

7.5	Umgang mit dem Ersatz bestehender Lärmschutzmassnahmen vor Ablauf der Lebensdauer bei gleichzeitiger Erhöhung.....	105
7.5.1	Anpassung des WTI zur Berücksichtigung von unterschiedlichen Realisierungszeitpunkten	105
7.5.2	Bestimmung der Effizienz mit angepasster Methode.....	106
7.5.3	Darstellung der Berechnungsmethodik anhand eines Beispiels.....	107
7.5.4	Fazit.....	113
7.6	Mehraufwand durch Ausdehnung des Beurteilungsperrimeters	114
7.6.1	Bisherige und neue Schwellenwerte	114
7.6.2	Von Mehraufwand betroffene Arbeiten	114
7.6.3	Ausdehnung Perimeter	115
7.6.4	Vergleich der prozentualen Ausdehnung aus Fallbeispielen und sonBASE	120
7.6.5	Sensitivität: Schwellenwerte bei 45/55 anstelle von 40/50	121
7.6.6	Fazit.....	124
7.7	Alternative Effektivitätsmasse	125
7.7.1	Ausgangslage.....	125
7.7.2	Alternative Berechnungsarten für die Effektivität	127
7.7.3	Vergleich der untersuchten Effektivitätsmasse	130
7.7.4	Fazit.....	131
8	Zusammenfassung und Empfehlungen.....	134
8.1	Periodische Überprüfung der WTI-Methodik.....	134
8.2	Anpassung der Methodik auf der Nutzenseite	135
8.3	Flexibilisierung und Präzisierung auf der Kostenseite	136
8.4	Mehraufwand durch grösseren Perimeter lässt sich eingrenzen	137
8.5	Kein Handlungsbedarf aus Vergleich mit übrigen Methoden zur Bewertung lärmbedingter Verkehrskosten	138
8.6	Realisierung effizienter Massnahmen dank Effektivitätszuschlag	138
8.7	Alternative Effektivitätsmasse stehen bereit	139
8.8	Geschäftsliegenschaften sind bei Effektivität berücksichtigt	139
8.9	Verzicht auf Berücksichtigung der DALY	140
8.10	Klärung der Auswahl- bzw. Priorisierungsregel	140
9	Anhang A – Zusätzliche Umfrageergebnisse / Fragebogen	142
9.1	Kombination von lärmarmen Belägen mit Lärmschutzwänden.....	142
9.2	Umgang mit Ersatz / Erhöhung vor Ablauf der Lebensdauer	143
9.3	Generelle Rückmeldungen zum WTI	144
9.4	Fragebogen (Struktur).....	146
10	Anhang B – Weitere Berechnungsergebnisse	148
10.1	Anhang B1 - Berechnung mit neuen Annahmen zu den Mietzinsverlusten (ohne Gesundheitsnutzen)	148
10.1.1	Lärmschutzwände	148

10.1.2	Lärmarme Beläge.....	152
10.2	Anhang B2 – WTI und Effizienz mit der neuen Methodik bei voller Bautiefe	153
10.2.1	Volle Bautiefe, einfache Ausführung.....	154
10.2.2	Volle Bautiefe, mittlere Ausführung.....	156
10.2.3	Volle Bautiefe, komplexe Ausführung	158
10.3	WTI mit Effektivitätszuschlag 0.75, inkl. Gesundheitskosten, mittlere Ausführung	160
11	Anhang C – Technische Dokumentation Fallbeispiele	163
11.1	Fallbeispiele mit Lärmschutzwand	163
11.2	Fallbeispiele mit lärmarmen Belägen	165
11.3	Emissionen.....	166
11.4	Kennwerte pro Gebäude	167
12	Anhang D – Methoden zur Beurteilung der lärmbedingten Verkehrskosten	169
13	Anhang E – Reales Fallbeispiel «Haag» (Sennwald SG).....	172
	Literaturverzeichnis	176

Glossar / Abkürzungen

LSM	Lärmschutzmassnahme
LSW	Lärmschutzwand
dB(A)	Dezibel. Einheit für die Messung des Schalldruckpegels mit dem Bewertungsfiter (A). Ein Mass für die Stärke der tatsächlich wahrgenommenen Lärmbelastung.
DW	Englische Abkürzung für Disability Weight . Das DW ist ein Mass für die Quantifizierung der gesundheitlichen Einschränkung aufgrund von Krankheiten oder Verletzungen auf einer Skala zwischen 0 (Perfekte Gesundheit) und 1 (Tod)
L _{day}	TaglärmindeX für die Lärmbelastung während des Tages (06:00-22:00).
L _{den}	Tag-Abend-Nacht-LärmindeX. Durchschnitt aus L _{day} (12 Stunden), L _{evening} (4 Stunden), L _{night} (8 Stunden), wobei L _{evening} und L _{night} mit einem Pegelzuschlag von 5 dB(A), respektive 10 dB(A) bestraft werden.
L _{dn}	Analoger DurchschnittslärmindeX wie L _{den} . Es werden 16 Tages- und 8 Nachtstunden berücksichtigt, wobei der Nachtlärm ebenfalls mit einem Pegelzuschlag von 10 dB(A) bestraft wird.
L _{night}	NachtlärmindeX für die Lärmbelastung während der Nacht (22:00-06:00)
DALY	Englische Abkürzung für Disability Adjusted Life Years («durch Krankheitslast verkürztes Lebensjahr»). Die DALY setzen sich zusammen aus den verlorenen Lebensjahren durch vorzeitigen Tod (YLL) und mit Behinderung gelebte Lebensjahre (YLD).
VLYL	Value of Life years lost
VO SL	Value of statistical life

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Für die Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen bei öffentlichen Anlagen kommt seit vielen Jahren der «Wirtschaftliche Tragbarkeits-Index (WTI)» zur Anwendung. Die Grundidee des Konzepts wurde vor rund 20 Jahren im Auftrag des damaligen Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) entwickelt¹ und im Jahr 2006 verfeinert².

Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) wurde das Konzept sowie die in der Methodik vorgegebenen Kennzahlen zur Nutzen- und Kostenbewertung einer Überprüfung und Aktualisierung unterzogen. Die Autoren der Studie³ haben nachgewiesen, dass die bisher verwendeten Kennzahlen nicht mehr dem aktuellen Stand des Wissens entsprechen und auch weitere Anpassungen an der Methode angebracht sind.

Eine erste grobe Analyse zur Auswirkung der vorgeschlagenen Anpassungen anhand eines Beispiels aus der Vollzugshilfe⁴ hat gezeigt, dass sich der WTI wesentlich verschlechtern würde:

- Vor allem die empfohlene Reduktion beim bisher verwendeten Mietpreisabschlag würde gemäss den Autoren dazu führen, dass der Nutzen einer Lärminderung massgeblich vermindert würde.
- Der ebenfalls vorgeschlagene Einbezug von lärmbedingten Gesundheitskosten oder die empfohlene Senkung des Schwellenwerts bzw. der Untergrenze für die Entstehung lärmbedingter Kosten können gemäss den Autoren zwar das Ergebnis etwas verbessern, würden aber die geringeren Mietzinsreduktionen nicht kompensieren.

1.2 Ziel des Auftrags

Bevor nun BAFU-intern eine vertiefte Diskussion über die Notwendigkeit einer Anpassung sowie deren Bedeutung für den künftigen Lärmschutz geführt wird, will das BAFU zuerst mehr Klarheit über die Auswirkung der vorgeschlagenen Anpassungen erhalten.

Im Fokus der Analyse stehen dabei vor allem die vorgeschlagenen Anpassungen bei der Bewertung der Nutzelemente wie z.B. die Auswirkungen von Lärmschutzmassnahmen auf den

¹ Egger et al. (1998), Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen.

² Bichsel und Muff (2006), Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Optimierung der Interessenabwägung.

³ B.S.S. / Basler & Hoffmann (2017), Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen.

⁴ Es handelt sich um das Berechnungsbeispiel aus dem Berechnungsmodul zum Umwelt-Vollzug Nr. 0637 (Anhang 4), Leitfaden Strassenlärm: Vollzugshilfe für die Sanierung, Stand: Dezember 2006.

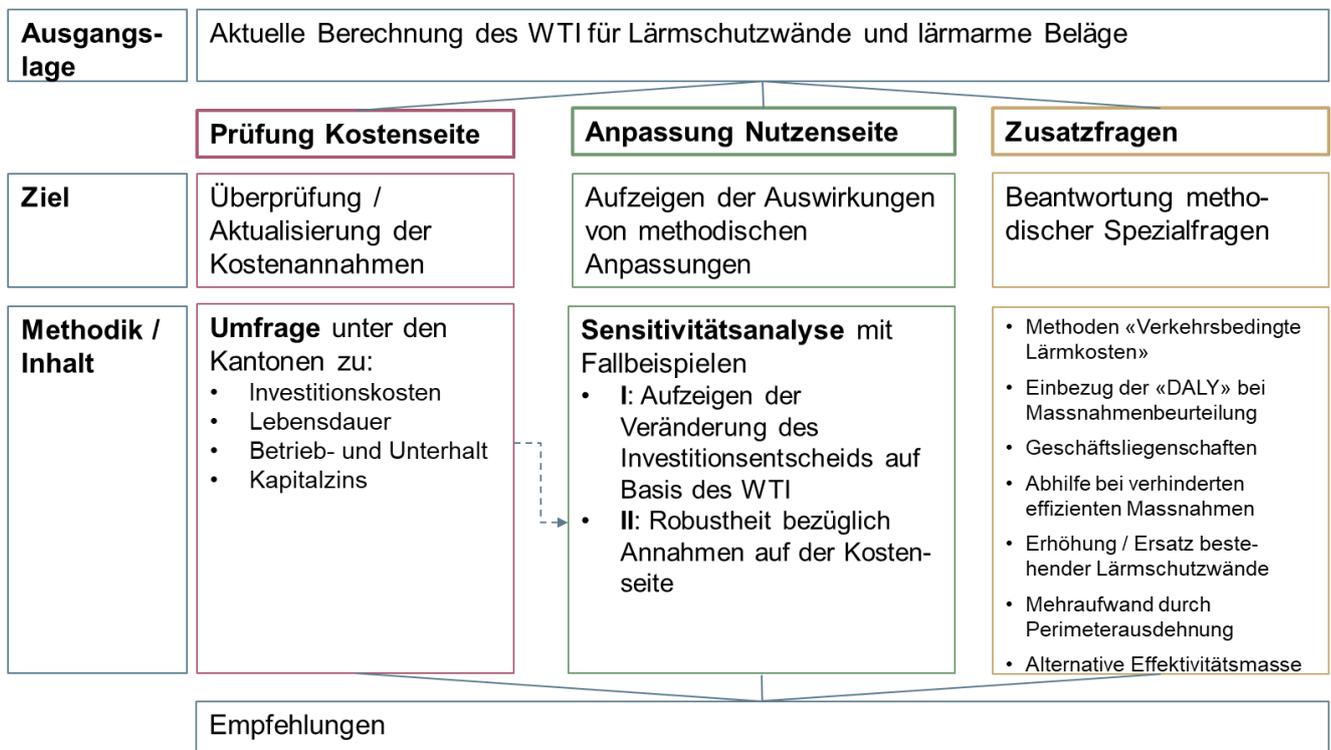
Wert von Liegenschaften bzw. den Mietzinsertrag sowie auf die Vermeidung von lärmbedingten Gesundheitsschäden. Zudem sollen die bisher verwendeten Kostensätze für Lärmschutzwände und lärmarme Strassenbeläge auf den aktuellsten Wissensstand gebracht werden.

Nicht Gegenstand der Studie ist eine mögliche Weiterentwicklung des WTI für den Einbezug weiterer Auswirkungen von Lärmschutzmassnahmen (z.B. visuelle Effekte) sowie eine Ausweitung des Anwendungsbereichs auf die Beurteilung von nicht-baulichen Massnahmen (wie z.B. Geschwindigkeitsreduktion auf Strassen). Diese Erweiterungen werden voraussichtlich zu einem späteren Zeitpunkt geprüft. Ebenso nicht Gegenstand der vorliegenden Studie ist eine generelle Überprüfung der Lärmgrenzwerte.

1.3 Untersuchungsansatz und Aufbau des Berichts

Die folgende Abbildung zeigt den für die vorliegende Studie gewählten Untersuchungsansatz. In der obersten Zeile steht als Ausgangslage die aktuelle Berechnung des WTI. Davon ausgehend ist das Ziel auf der Kostenseite mittels Umfrage die Kostenannahmen zu prüfen, auf der Nutzenseite die methodischen Anpassungen auf ihre Auswirkungen zu untersuchen und methodische Zusatzfragen zu beantworten.

Abbildung 1-1: Untersuchungsansatz



Der Bericht ist entlang dieses Untersuchungsansatzes in folgende Teile gegliedert:

- In **Kapitel 2** wird als Ausgangslage die aktuelle Berechnung des WTI beschrieben.
- In **Kapitel 3** werden die zu untersuchenden methodischen Anpassungen im Detail erläutert. Es wird aufgezeigt, welche möglichen Veränderungen kosten- und nutzenseitig einer Prüfung unterzogen werden.
- **Kapitel 4** zeigt die Ergebnisse der Umfrage unter den Kantonen zu den Kosten von Lärmschutzwänden und lärmarmen Belägen.
- In den **Kapiteln 5 und 6** werden die Auswirkungen der vorgeschlagenen Anpassungen auf der Nutzenseite anhand der Fallbeispiele für die beiden Massnahmentypen «Lärmschutzwände» (**Kapitel 5**) und «lärmarme Beläge» (**Kapitel 6**) rechnerisch ermittelt.
 - Zuerst wird jeweils die resultierende Beurteilung anhand des WTI ausgewiesen und mit der bisherigen Berechnungsmethodik verglichen (Kasten I auf der Nutzenseite).
 - Anschliessend wird die Robustheit der Ergebnisse auch bei Variation der Annahmen auf der Kostenseite geprüft (Kasten II auf der Nutzenseite). Dabei fliessen auch die Erkenntnisse aus der Umfrage unter den Kantonen zur Kostenseite ein (vgl. Kapitel 4).
- **Kapitel 7** enthält eine Diskussion zu zusätzlichen methodischen Fragen:
 - Welche Methoden zur Bewertung von verkehrsbedingten Lärmkosten werden von verschiedenen Bundesämtern verwendet?
 - Sollten die DALY («Disability Adjusted Life Years») in die Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen einfließen?
 - Wie ist künftig mit Geschäftsliegenschaften umzugehen, wenn sie aufgrund neuer Erkenntnisse nicht von Mietzinsverlusten betroffen sind?
 - Wie kann die Effektivität im Rahmen des WTI berücksichtigt werden, ohne dass es zum unerwünschten Ergebnis kommen kann, dass eine effiziente Massnahme durch eine allenfalls geringe Effektivität verhindert wird?
 - Wie ist mit der Erhöhung einer Lärmschutzwand umzugehen, die das Ende ihrer Lebensdauer noch nicht erreicht hat?
 - Welche Auswirkungen hat eine Perimeterausdehnung bei der Lärmbeurteilung auf den Aufwand zur Berechnung des WTI?
 - Welche alternativen Effektivitätsmassnahmen sind denkbar, um die absolute Höhe der Lärmbelastung einfließen zu lassen sowie den Schutz der Menschen mehr in den Vordergrund zu rücken?
- In **Kapitel 8** werden die Erkenntnisse zusammengefasst und Empfehlungen zur möglichen Anpassung des WTI präsentiert.

In den Anhängen sind verschiedene ergänzende Unterlagen zum Hauptbericht zusammengestellt:

- **Anhang A (Kapitel 9)** zeigt die im Rahmen der Umfrage von den Kantonen eingebrachten schriftlichen Bemerkungen.

- Im **Anhang B (Kapitel 10)** werden die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die untersuchten Fallbeispiele im Detail ausgewiesen.
- Die technische Dokumentation der Fallbeispiele mit den berücksichtigten Lärmemissionen sowie den Kennwerten zu den Gebäuden ist Gegenstand von **Anhang C (Kapitel 11)**.
- **Anhang D (Kapitel 12)** gibt einen Einblick über die beim Bund zur Beurteilung von lärmbedingten Verkehrskosten eingesetzten Methoden (Grundlage für Kapitel 7.1).
- Der **Anhang E (Kapitel 13)** zeigt die Berechnung des WTI für ein reales Fallbeispiel («Haag») mit der alten und der neuen Methodik.

2 Ausgangslage: Aktuelle Berechnung des WTI

Der WTI bildet die Grundlage für die Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Die Methodik ist beispielsweise im «Leitfaden Strassenlärm»⁵ und in den zugehörigen Anhängen detailliert beschrieben. Daneben gibt es als Hilfestellung ein Berechnungstool auf Excel-Basis (im vorliegenden Bericht auch als «WTI-Tool» bezeichnet). Nachfolgend wird die Berechnung des WTI gemäss heutiger Praxis kurz erläutert.

2.1 Berechnungsvorgang

2.1.1 WTI

Die Berechnung des WTI erfolgt nach der folgenden Formel:

$$WTI = \frac{(\text{Effizienz} \times \text{Effektivität})}{25}$$

Im Grundsatz folgt der WTI einer monetären Kosten-Nutzen-Analyse, mit Relativierung des Ergebnisses durch eine Wirksamkeitsbetrachtung:

- Im Teil **Effizienz** (Nutzen-Kosten-Verhältnis) werden die Nutzen einer Massnahme den Kosten der Massnahme gegenübergestellt. Rein ökonomisch betrachtet gilt im Grundsatz, dass Massnahmen nur zu ergreifen sind, wenn deren Nutzen grösser als die Kosten sind, das Verhältnis Nutzen / Kosten also ≥ 1 ist.
- Mit dem Teil **Effektivität** (Wirksamkeit) wird dieses (harte) Rentabilitätskriterium aufgeweicht: Massnahmen sollen auch dann noch ergriffen werden, wenn ihr Nutzen-Kosten-Verhältnis unter 1 liegt, aber mit der Massnahme ein hoher Anteil der bisher übermässig belärmten Gebäudefläche unter die Immissionsgrenzwerte (IGW) gebracht werden kann.

2.1.2 Effizienz

Die **Effizienz** ergibt sich aus der Gegenüberstellung der volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen der Lärmschutzmassnahme:

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

$VK_{\text{lärm,ohne}}$ = Volkswirtschaftliche Lärmkosten ohne Lärmschutzmassnahmen (CHF/Jahr)

$VK_{\text{lärm,mit}}$ = Volkswirtschaftliche Lärmkosten mit Lärmschutzmassnahmen (CHF/Jahr)

Jahreskosten = Jahreskosten der Lärmschutzmassnahme

⁵ Vgl. BAFU / ASTRA (2006), Leitfaden Strassenlärm. Vollzugshilfe für die Sanierung. Stand: Dezember 2006. Bern.

a) Nutzenberechnung

Der **Nutzen** berechnet sich aus der Reduktion der volkswirtschaftlichen Lärmkosten ($VK_{\text{lärm}}$), welche durch die Lärmschutzmassnahme erreicht wird.

Mit der aktuellen Methodik werden diese Kosten in Form von Wertverlusten auf dem Mietpreis der belärmten Liegenschaften ausgewiesen. Der im WTI berücksichtigte Nutzen besteht somit in einer Reduktion des Mietpreisverlustes, wenn als Folge der Lärmschutzmassnahme die Lärmbelastung abnimmt und mit einer nun vom Lärm entlasteten Wohnung ein höherer Mietzins am Markt erzielt werden kann.

Die folgende Abbildung 2-1 zeigt die im aktuellen WTI-Tool hinterlegten Annahmen zur Ermittlung der Mietzinsverluste, die sich aus der Multiplikation der Mietkosten pro Jahr mit dem lärmbedingten prozentualen Mietpreisabschlag ergeben. Sowohl die Annahmen zum prozentualen Mietpreisabschlag wie auch zu den Mietkosten sind fix vorgegeben:⁶

- Die zu verwendende Mietpreisreduktion (unterste Zeile der Abbildung) hängt von der Höhe der Lärmbelastung bzw. von der Lärmklasse (LK) ab und variiert zwischen 0.8% bis 1.0%. Die Lärmklassen sind im WTI-Tool fixiert und orientieren sich am Umstand, ob die bestehende Lärmbelastung den Planungswert (PW), den Immissionsgrenzwert (IGW) oder den Alarmwert (AW) überschreiten.⁷ Die Zuordnung der prozentualen Mietpreisabschläge auf die einzelnen Lärmklassen ist im WTI-Tool ebenfalls fixiert und beruht auf den zum Zeitpunkt der Erstellung der Methodik vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnissen.
- Die unterstellten Mietkosten pro Jahr und m^2 von 150 CHF sind ebenfalls gegeben. Eine Anpassung im Zeitverlauf (z.B. Inflation oder reale Mietpreisentwicklung) sowie eine projekt- oder ortsspezifische Anpassung ist in der Methodik nicht vorgesehen. Dadurch soll eine «Gleichbehandlung» von lärmbelasteten Gebieten mit unterschiedlichen Mietzinsniveaus erreicht werden.

⁶ Technisch ist es möglich, Veränderungen an den Mietzinsen im WTI-Berechnungstools vorzunehmen. Einzelne Kantone nutzen diese Möglichkeit gemäss Umfrage, damit den regional hohen Investitionskosten für Lärmschutzwände im Einzelfall auch die regional höheren Mietpreise gegenübergestellt werden können.

⁷ Der jeweils geltende PW, IGW und AW ist abhängig von der Empfindlichkeitsstufe, und ob Tag- oder Nachtlärm betrachtet wird (vgl. hierzu den nachstehenden Exkurs mit der Abbildung 2-2).

Abbildung 2-1: Annahmen zu Lärmklassen und Mietzinsverlusten

	Lärmklasse 1 (LK1)	Lärmklasse 2 (LK2)	Lärmklasse 3 (LK3)	Lärmklasse 4 LK4 (nur Neuanlagen)
Einteilung in Lärmklassen				
Bestehende Anlagen	$x \geq AW$	$AW > x \geq IGW$	$IGW > x \geq IGW - 5$	(keine)
Neuanlagen	$x \geq AW$	$AW > x \geq IGW$	$IGW > x \geq PW$	$PW > x \geq PW - 5$
Mietzinsverluste				
Mietkosten pro Jahr pro m ²	alle 150 CHF / m ²			
Mietpreisreduktion (in %)	1.0%	0.9%	0.8%	0.8%

Abkürzungen: AW: Alarmwert, IGW: Immissionsgrenzwert, PW: Planungswert

Exkurs: Lärmgrenzwerte nach Empfindlichkeitsstufe

Die Belastungsgrenzwerte für Strassenverkehrslärm gemäss geltender Lärmschutzverordnung sind in der folgenden Abbildung zusammengestellt. Sie sind differenziert nach Tag / Nacht und sie variieren je nach Empfindlichkeitsstufe.

Abbildung 2-2: Belastungsgrenzwerte für Strassenverkehrslärm gemäss Lärmschutzverordnung

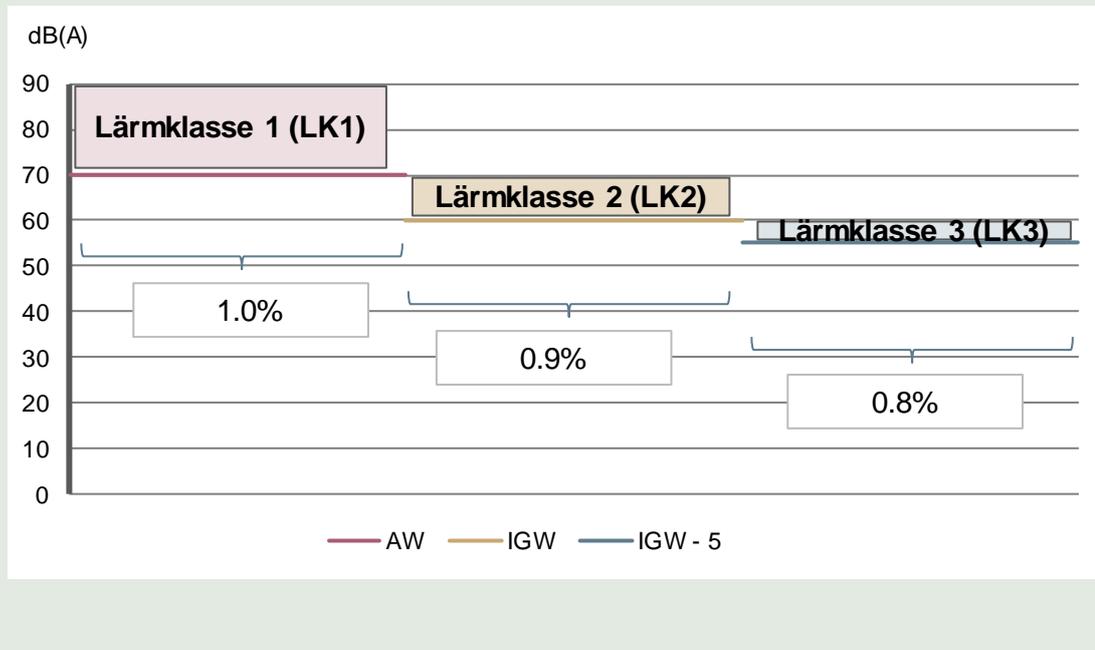
ES	Tag			Nacht		
	PW	IGW	AW	PW	IGW	AW
I	50	55	65	40	45	60
II	55	60	70	45	50	65
III	60	65	70	50	55	65
IV	65	70	75	55	60	70

Die nachstehende Abbildung 2-3 zeigt anhand einer bestehenden Anlage in der Empfindlichkeitsstufe II beispielhaft, welcher prozentuale Mietpreisreduktion je nach Höhe der Lärmbelastung tags im WTI-Tool zur Anwendung kommt, um den Mietzinsverlust zu ermitteln:

- Liegt die Lärmbelastung über 70 dB(A) so ist der Alarmwert überschritten und entsprechend ist gemäss der vorgegebenen Zuordnung in Abbildung 2-1 eine Mietpreisreduktion von 1% in der Lärmklasse 1 zu verwenden.
- Eine Lärmbelastung von beispielsweise 65 dB(A), welche zwischen dem Alarmwert [70 dB(A)] und dem Immissionsgrenzwert [60 dB(A)] liegt, fällt gemäss der Zuordnung in Abbildung 2-1 in die Lärmklasse 2 und entsprechend ist eine Mietpreisreduktion von 0.9% anzuwenden.
- Besteht eine Lärmbelastung von 57 dB(A), so ist eine Mietpreisreduktion von 0.8% zu verwenden, weil sie zwischen den Immissionsgrenzwert [60 dB(A)] und dem «IGW-5» [55 dB(A)] liegt und gemäss Abbildung 2-1 dementsprechend in Lärmklasse 3 fällt.

- Für Lärmbelastungen unter 55 dB(A) tags ist bei bestehenden Anlagen in Empfindlichkeitsstufe II keine Mietpreisreduktion und somit kein Mietzinsverlust zu berücksichtigen.

Abbildung 2-3: Lärmklassen und Mietpreisreduktion in % für eine bestehende Anlage in ES II, tags⁸



b) Kostenberechnung

Die **Kosten** für die Lärmschutzmassnahme werden auf Basis der Investitionskosten ermittelt. Dazu werden die Investitionskosten über die angenommene Lebensdauer abgeschrieben und verzinst und daraus die jährlichen Kosten für den Kapitaldienst ermittelt. Ebenfalls berücksichtigt werden die jährlichen Kosten für Betrieb und Unterhalt (in % der Investitionskosten).

2.1.3 Effektivität

Die **Effektivität** entspricht dem Zielerreichungsgrad, d.h. es wird ermittelt, welcher Anteil der gesetzlich vorgeschriebenen Schutzwirkung (Einhaltung der Belastungsgrenzwerte) durch die Lärmschutzmassnahme erreicht wird. Dazu wird die lärmbelastete Fläche vor ergreifen der Lärmschutzmassnahme mit jener nach Ergreifen der Massnahme verglichen. Je kleiner die noch verbleibende lärmbelastete Fläche im Vergleich zur ursprünglich belärmten Fläche ausfällt, desto besser wird die Effektivität der Massnahme beurteilt. Umgesetzt wird dies mittels der nachstehenden Formel:

⁸ Es gilt zu beachten, dass je nach Empfindlichkeitsstufe die Grenzen der Lärmklassen anders verlaufen und daher die Abbildung nur für die Empfindlichkeitsstufe II gilt.

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

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

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

$\overline{\Delta L_{LK_i}}$: Mittlere Überschreitung von IGW – 5dB(A)

2.2 Beurteilung und Wirkung des WTI

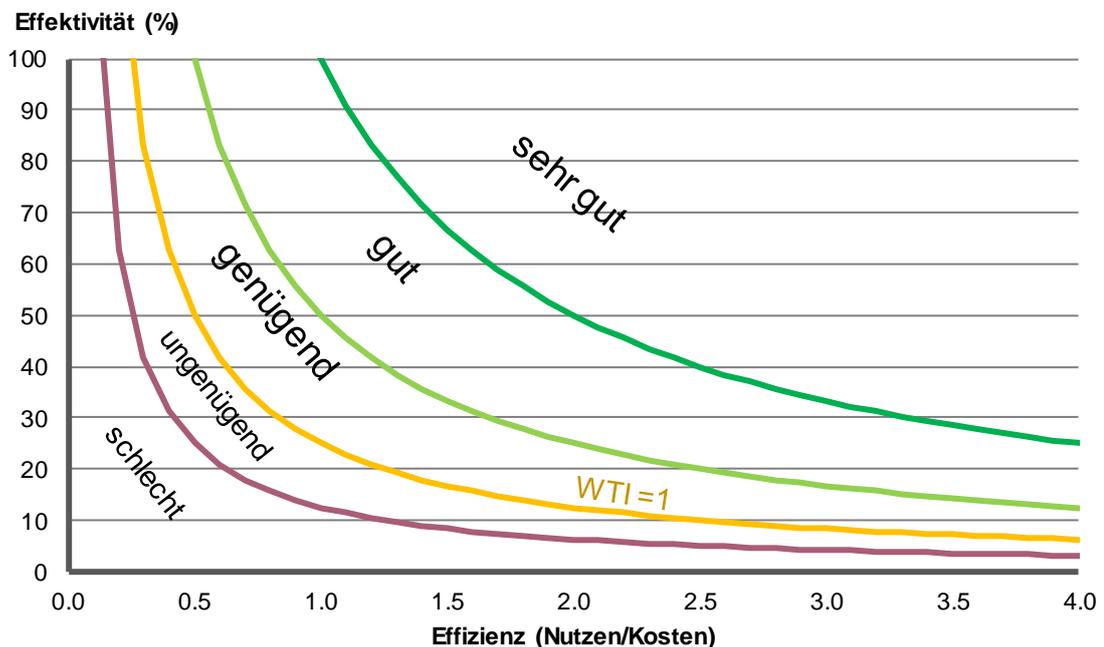
Nach Berechnung des WTI dient er der Beurteilung einer Massnahme. Eine Lärmschutzmassnahme mit einem WTI von mindestens 1.0 wird als «wirtschaftlich tragbar und verhältnismässig» betrachtet und sollte deshalb umgesetzt werden.

Der WTI dient darüber hinaus auch der Bildung einer Rangfolge der Massnahmen. Dafür werden die Massnahmen gemäss ihrem WTI in weitere Abstufungen eingeteilt:

- WTI ≥ 4.0 = sehr gut
- WTI ≥ 2.0 = gut
- WTI ≥ 1.0 = genügend
- WTI < 1.0 = ungenügend
- WTI < 0.5 = schlecht

In der nachstehenden Abbildung ist dargestellt, welche Kombinationen von Effizienz (gemessen als Nutzen-Kosten-Verhältnis) und Effektivität (gemessen in % der nicht mehr über dem Grenzwert belasteten und mit der Grenzwertüberschreitung gewichteten Fläche) zu einem WTI grösser als 1 führt (grüne Flächen).

Abbildung 2-4: Darstellung des WTI als Effektivitäts-Effizienz-Diagramm



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von BAFU (2009), Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen.

Gelegentlich stehen bei der Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen verschiedene Varianten mit unterschiedlichem WTI bzw. unterschiedlicher Effizienz und Effektivität zur Auswahl. Bei dieser Ausgangslage stellt sich die Frage, welche der Varianten zu realisieren ist.

- Der Leitfaden «Sanierung Strassenlärm»⁹ äussert sich hierzu an zwei Stellen wie folgt:
 - Unter der Randziffer «**Höchstmögliche Effektivität, $WTI \geq 1$** » steht: «Die Sanierungsmassnahmen sind ... so zu dimensionieren, dass die Immissionsgrenzwerte eingehalten werden (Effektivität 100%). Verursachen die so dimensionierten Massnahmen unverhältnismässige Kosten oder Betriebseinschränkungen kann davon abgewichen werden. Dabei ist eine verhältnismässige Lösung mit höchstmöglicher Effektivität und einem WTI-Index von mindestens 1.0 zu wählen.»
 - Unter der Randziffer «**Optimierung der Sanierungsprojekte**» wird Folgendes festgehalten: «Angestrebt wird die wirtschaftlich günstigste Lösung der Sanierung unter Einhaltung der Immissionsgrenzwerte (Effektivität 100%). Bei Massnahmen mit identischem WT-Index sind grundsätzlich diejenigen Varianten zu bevorzugen, die eine höhere Zielerreichung aufweisen. Bei gleicher Effektivität ist die Effizienz (bessere Kosten-Nutzen-Verhältnis) als Bewertungskriterium zu verwenden.»

⁹ BAFU / ASTRA (2006), Leitfaden Strassenlärm: Vollzugshilfe für die Sanierung.

Aufgrund dieser Ausführung wäre nach unserem Verständnis von allen Varianten, die mindestens einen WTI von ≥ 1.0 erreichen, jene Variante mit der höchsten Effektivität zu wählen. Diese Priorisierungsregel I impliziert im Prinzip ein zweistufiges Vorgehen:

- In der 1. Stufe sind alle jene Varianten auszuschneiden, deren WTI < 1 ist.
- In der 2. Stufe ist dann jene Variante mit der höchsten Effektivität zu wählen.

Bei dieser Priorisierungsregel I kann sich die Situation ergeben, dass eine Variante 2 zu realisieren ist, deren WTI mit z.B. 1.1 kleiner ist als jene der Variante 1 (WTI von 1.5), aber im Vergleich zur Variante 1 eine geringfügig grössere Effektivität (z.B. 95% statt 94%) aufweist.

- Demgegenüber wird im Anhang 4c zum Leitfaden Strassenlärm Folgendes festgehalten:¹⁰ «Die Gesamtbeurteilung eines Projekts im Sinne der rechtlich geforderten Interessenabwägung erfolgt anhand des Effizienz-Effektivitäts-Diagramms. Es erlaubt eine Klassierung der Massnahmen ..., sowie Variantenvergleiche und Optimierungen.» Dabei wird auch explizit auf die Darstellung in Abbildung 2-4 verwiesen, welche je nach Höhe des WTI eine Beurteilung der Massnahmen von «schlecht» (WTI < 0.5) bis «sehr gut» (WTI > 4) zur Folge hat. Aus dieser Umschreibung lässt sich folgende Priorisierungsregel II ableiten: Die Varianten sind nach ihrem WTI-Wert zu ordnen und es ist jene mit dem höchsten WTI-Wert zu realisieren. Im oben erwähnten Beispiel wären aufgrund dieser Priorisierungsregel II somit Variante 1 und nicht Variante 2 zu realisieren, da die Variante 1 den höheren WTI-Wert aufweist.¹¹

Die beiden Interpretationsmöglichkeiten zur Auswahl- bzw. Priorisierungsregel haben in der Praxis zu Diskussionen geführt.

Grundsätzlich entspricht die in der WTI-Methodik vorgesehene Abstufung des WTI nach «genügend» bis «sehr gut» (vgl. Abbildung 2-4, S. 16) einer Ordinalskala. Diese erlaubt die Bildung einer Rangfolge über klar definierte Kategorien. Folgt man dieser Logik so sind Massnahmen mit einem WTI deutlich über 1.0 gegenüber Massnahmen mit einem WTI knapp über 1.0 zu bevorzugen. Der WTI kann deshalb direkt zur Priorisierung von Massnahmen verwendet werden. Er enthält mit der Berücksichtigung von Effizienz und Effektivität auch bereits eine «Interessenabwägung» zwischen einer rein ökonomischen Sichtweise und den Anliegen eines möglichst vollständigen Lärmschutzes. Diese Überlegungen sprechen unseres Erachtens dafür, dass die Auswahl und Priorisierung der Massnahmen bzw. Varianten nach der Priorisierungsregel II stattfinden sollte.

Die Priorisierungsregel I würde demgegenüber implizieren, dass die Effektivität mit «doppelter Gewichtung» zur Auswahl von Massnahmen berücksichtigt würde. Zuerst würde sie dazu dienen, eine aus Effizienz-Sicht möglicherweise unwirtschaftliche Massnahme (Nutzen-Kosten-Verhältnis < 1) dank einer guten Effektivität auf einen WTI-Wert (knapp) über 1 zu bringen und

¹⁰ Vgl. ASTRA / BAFU (2007), Leitfaden Strassenlärm: Vollzugshilfe für die Sanierung, Anhang 4c, S. 14.

¹¹ Sollten zwei Varianten exakt den gleichen WTI-Wert aufweisen, so ist in der Priorisierungsregel II nicht explizit geregelt, welche der beiden Varianten zum Tragen kommt: Aus rein ökonomischer Sicht wäre die Variante mit dem besseren Nutzen-Kosten-Verhältnis zu wählen. Im Sinne des Lärmschutzes wäre der Variante mit der besseren Effektivität der Vorzug zu geben.

sobald dieser Minimalwert erreicht wird, wäre sie danach das einzige Auswahlkriterium und die volkswirtschaftliche Vorteilhaftigkeit im Sinne eines guten Nutzen-Kosten-Verhältnisses würde überhaupt keine Rolle mehr spielen.

Wir empfehlen, die Frage der anzuwendenden Priorisierungsregel zu klären und die Auswahl der Massnahmen nach Priorisierungsregel II festzulegen.

3 Untersuchte Anpassungen

Im Rahmen dieser Studie werden sowohl potenzielle Anpassungen auf der Kosten- als auch auf der Nutzenseite untersucht. Dabei standen jeweils andere Fragestellungen und Methoden im Vordergrund:

- Auf der **Kostenseite** werden die im WTI-Tool hinterlegten Kostenannahmen überprüft (vgl. Abschnitt 3.1).
Die Erkenntnisse aus der hierzu durchgeführten Umfrage bei den Kantonen werden in Kapitel 4 vorgestellt.
- Auf der **Nutzenseite** stehen einerseits Anpassungen bei der Ermittlung der Mietzinsverluste und andererseits die Mitberücksichtigung von lärmbedingten Gesundheitskosten zur Diskussion (vgl. Abschnitt 3.2).
Die umfangreiche Analyse dieser möglichen Anpassungen und ihrer Auswirkungen auf den WTI folgen für die Lärmschutzwände in Kapitel 5 und für die lärmarmen Beläge in Kapitel 6. Dabei werden die neuen Erkenntnisse zu den Kosten (Kapitel 4) in die Analyse miteinbezogen.

3.1 Überprüfung der Annahmen auf der Kostenseite

Im Berechnungstool zum WTI sind auf der **Kostenseite** verschiedene Standardannahmen vorgegeben, sowohl für Lärmschutzwände als auch für lärmarme Beläge:

- Investitionskosten in CHF pro m²
- Lebensdauer (in Jahren)
- Jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten (in % der Investitionskosten)
- Kapitalzinssatz (in%)

Die Verwendung der zur Verfügung gestellten Annahmen auf der Kostenseite wird im WTI-Tool empfohlen, sofern keine projektbezogenen Angaben vorhanden sind. Die folgende Abbildung zeigt die Annahmen als Auszug aus dem WTI-Tool. Die Lebensdauer bei den lärmarmen Belägen bezieht dabei sich nur auf die Erneuerung der obersten (lärmarmen) Schicht.

Abbildung 3-1: Kostenannahmen im WTI-Tool

Lärm- schutz- wände	Massnahme	Investitions- kosten	Kapitalzins	Lebensdauer	Betrieb und Unterhalt
	Lärmschutzwand einfache Ausführung (mit Streifenfundation)	900 Fr./m ²	3%	30 Jahre	1.0%
	Lärmschutzwand komplexe Ausführung (mit Pfahlfundation)	1'700 Fr./m ²	3%	30 Jahre	1.0%
	Lärmschutzdamm	1'000 Fr./m ²	3%	30 Jahre	1.0%
	Überdeckung	5'000 Fr./m ²	3%	50 Jahre	1.0%
Lärm- arme Beläge	Belagstyp	Belagskosten	Kapitalzins	Lebensdauer	Betrieb und Unterhalt
	Drainbelag (PA)	36 Fr./m ²	3%	10 Jahre	1.7%
	Rauasphalt SDA 8a	34 Fr./m ²	3%	15 Jahre	1.2%
	lärmarme Beläge (Wirkung ≥ 1 dBA)	36 Fr./m ²	3%	15 Jahre	1.2%
	Referenzbelag	30 Fr./m ²	3%	15 Jahre	1.0%

Der Auftrag bestand darin, diese Annahmen auf ihre Aktualität zu prüfen. Dazu wurde unter den Kantonen eine Umfrage durchgeführt und die Daten ausgewertet (vgl. Kapitel 4).

Die gewonnenen Erkenntnisse fliessen anschliessend auch in die Analyse der Anpassungen auf der Nutzenseite ein (vgl. Kapitel 5.4 und 6.4).

3.2 Untersuchte Anpassungen auf der Nutzenseite

Es werden zwei Anpassungen auf der **Nutzenseite** untersucht:

- **Mietzinsnutzen**¹²: Anpassungen bei der Berechnung der verkehrslärmbedingten Mietzinsverluste
- **Gesundheitsnutzen**¹³: Berücksichtigung der verkehrslärmbedingten Gesundheitskosten

Zusätzlich untersuchen wir im Rahmen dieser Analyse auch den Einfluss der Kosten auf den Investitionsentscheid mit der neuen Methodik auf der Nutzenseite. Dazu variieren wir die Investitionskosten, den Kapitalisierungszinssatz und die Lebensdauer der Massnahmen. Als Grundlage zur Festlegung der untersuchten Bandbreiten verwenden wir einerseits die aktuell im WTI-Tool angegebenen Standardwerte und andererseits die aus der Umfrage gewonnenen Erkenntnisse.

¹² Der Begriff «Mietzinsnutzen» stellt eine sprachliche Vereinfachung dar, welche wir im vorliegenden und den weiteren Kapiteln verwenden werden. Gemeint sind damit immer die verminderten lärmbedingten Mietzinsausfälle, wenn eine Lärmschutzmassnahme ergriffen wird.

¹³ Auch mit dem Begriff «Gesundheitsnutzen» wird - wie vorangehend bei den «Mietzinsausfällen» - eine sprachliche Vereinfachung vorgenommen. Gemeint sind die verminderten lärmbedingten Gesundheitskosten, wenn Dank einer Lärmschutzmassnahme die betroffenen Personen unter weniger Lärmimmissionen leiden und in der Folge weniger lärmbedingte Gesundheitsschäden mit ihren Folgekosten auftreten.

3.2.1 Anpassung verkehrslärmbedingte Mietzinsverluste (Mietzinsnutzen)

Die nachfolgende Abbildung zeigt die untersuchten Anpassungen bei der Berechnung der «Mietzinsnutzen» von Lärmschutzmassnahmen.

Eine ausführliche Diskussion dieser Annahmen findet in der Vorstudie¹⁴ statt und wird an dieser Stelle nicht noch einmal geführt. Die Werte entsprechen dem aktuellsten Stand der internationalen und nationalen Forschung in diesem Bereich und werden in den neuesten Studien zu den externen Kosten des Verkehrs in der Schweiz¹⁵ verwendet.

¹⁴ Vgl. B,S,S / Basler & Hoffmann (2017), Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen.

¹⁵ Vgl. Ecoplan / Infrac (2014), Externe Kosten des Verkehrs 2010 sowie Ecoplan / Infrac (2018), Aktualisierung der Externen Kosten des Verkehr für das Jahr 2015.

Abbildung 3-2: Untersuchte Anpassungen an der Berechnung der Mietzinsverluste

	Bisherige Annahmen	Untersuchte Anpassung
Schwellenwert für Entstehung lärmbedingter Mietzinsausfälle	Grenzwerte gemäss LSV Differenziert nach Empfindlichkeitsstufe (ES) und neuen / bestehenden Anlagen <i>Die Grenzwerte dienen der Zuteilung der Geschossflächen in Lärmklassen (siehe unten).</i>	Neue Schwellenwerte: 40 dB(A) Nachtlärm <i>Falls Nachtlärm < 40 dB(A):</i> 50 dB(A) Taglärm (Keine Differenzierung nach ES sowie bestehenden / neuen Anlagen)
Mietpreisreduktion in % pro dBA über Schwellenwert	Differenziert nach Lärmklasse (LK) ¹⁶ – LK I: 1.0% – LK II: 0.9% – LK III: 0.8% – LK IV: 0.8% (neue Anlagen)	Generell: – 0.25% für Strassenlärm – 0.27% für Eisenbahnlärm (Unabhängig von Lärmklasse, LSV-Grenzwerten (IGW, AW) und Empfindlichkeitsstufe (ES)) <i>Siehe nachfolgender Exkurs</i>
Massgebende Lärmbelastung über dem Schwellenwert	– Bestehende Anlagen: Anzahl dB(A) über IGW – 5 dB(A) – Neue Anlagen: Anzahl dB(A) über dem Planungswert – 5 dB(A) (PW) Es wird die maximale Überschreitung Tag/Nacht verwendet.	Generell: – Anzahl dB(A) über Schwellenwert (siehe oben) Es wird der jeweilige Wert mit Überschreitung des Schwellenwerts (Nacht, sonst Tag) verwendet.
Durchschnittlicher Mietpreis («Kostensatz»)	150 CHF pro m² (2008) <i>(nicht auf aktuelles Jahr aufdatiert, weil auch die Kostensätze nicht aufdatiert werden)</i>	157 CHF pro m² für 2017 (mit BFS Mietpreisindex aktualisiert) (155 CH/m ² gemäss BSS / B&H für 2016)
Geschäftsliegenschaften	Behandlung wie Wohnliegenschaften (weisen meist eine tiefere Ausnutzungsziffer als Wohnnutzungen auf, was ihre Bedeutung reduziert)	<i>Nicht mehr berücksichtigt, weil neue Erkenntnisse zeigen, dass bei Geschäftsliegenschaften keine Mietzinsverluste aufgrund der Verkehrslärmbelastung nachweisbar sind.</i> ¹⁷

Quellen: Bisherige Annahmen: WTI-Tool Version 2.1 / Leitfaden Strassenlärm, Durchschnittlicher Mietpreis neue Methodik: BSS / Basler & Hoffmann (2017) und Mietpreisindex: BFS (2018), Schwellenwerte und Mietpreisreduktion neue Methodik: Ecoplan / Infras (2014) S. 270

Die Verwendung der neuen (teilweise tieferen) Schwellenwerte hat zur Folge, dass auch die prozentuale Mietpreisreduktion pro dB(A) über diesem Schwellenwert angepasst werden muss. Die beiden Annahmen sind also miteinander gekoppelt und können nicht isoliert betrachtet werden (vgl. nachfolgender Exkurs).

¹⁶ Für eine Definition der Lärmklassen vgl. Abschnitt 2.1.2a).

¹⁷ Zur Bedeutung und zum Umgang mit Geschäftsliegenschaften verweisen wir auf die zusätzlichen Analysen in Abschnitt 7.3.

Exkurs: Neue Annahmen zum Schwellenwert und zur Mietpreisreduktion bei Überschreitungen

Die neuen Annahmen zum **Schwellenwert** für verkehrslärmbedingte Mietzinsverluste und zur **Mietpreisreduktion** pro dB(A) über diesem Schwellenwert werden im Detail im ARE-Bericht zu den externen Kosten im Strassenverkehr aus dem Jahr 2014 (Aktualisierung für das Jahr 2010, ab Seite 266)¹⁸ beschrieben. Sie entsprechen dem neuesten Stand der Forschung auf diesem Gebiet.

Beim neuen Schwellenwert (40 dB(A) nachts resp. 50 dB(A) tags) handelt es sich um das sogenannte «ZKB-Lärmass». Für die Schweiz wurde in der Hedonic-Pricing-Studie der Zürcher Kantonalbank zum Einfluss von Lärm auf die Mietpreise festgestellt, dass diese Schwellenwerte die Mietzinsverluste durch Lärm am besten erklären können.

Die aus der Untersuchung ermittelte Mietpreisreduktion in % pro dB(A) ist an den Schwellenwert gekoppelt. Beispielsweise wurde im Rahmen eines Expertenworkshops zur LAN von einem Mietzinsabschlag von 0.6% pro dB(A) ausgegangen. Dort bezogen sich die Angaben zur Mietpreisreduktion aber auf die Immissionsgrenzwerte der Lärmschutzverordnung und nicht auf davon unabhängige Schwellenwerte wie sie im Rahmen der ZKB-Analyse verwendet werden. In der bisherigen Berechnung der Mietzinsverluste zum WTI bezog sich die prozentuale Mietpreisreduktion ebenfalls auf die Grenzwerte der LSV und wurden mit 0.8%-1.0% angenommen.^{19 20}

Die neuen Schwellenwerte unterscheiden sich von den **Grenzwerten** in der Lärmschutzverordnung. Diese sind in den 80er Jahren festgelegt worden, lange bevor die aktuellen umfangreichen Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen Lärm und Mietzinsverlust sowie lärmbedingter Gesundheitsschäden vorlagen.

3.2.2 Einbezug verkehrslärmbedingter Gesundheitskosten (Gesundheitsnutzen)

In den aktuellsten ARE-Studien zu den externen Kosten des Verkehrs²¹ werden neben den Mietzinsverlusten durch Belästigung und Schlafstörungen auch spezifische Gesundheitsschäden berücksichtigt, die als Folge der Lärmbelastung epidemiologisch nachgewiesen sind. Dazu zählen ischämischen Herzkrankheiten, Herzinfarkt sowie Bluthochdruck bedingte Krankheiten.

Diese Gesundheitskosten des Verkehrslärms sind bisher nicht in den WTI eingeflossen. Im Rahmen dieser Studie soll geprüft werden, welche Auswirkungen die Aufnahme der lärmbedingten Gesundheitskosten (bzw. ihrer Reduzierung durch die Lärmschutzmassnahme) auf

¹⁸ Vgl. Ecoplan / Infrac (2014), Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Zürich / Bern.

¹⁹ Vgl. hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 2.1.2a).

²⁰ Etwas vereinfacht hat sich aus verschiedenen Untersuchungen gezeigt, dass die prozentuale Mietpreisreduktion umso höher ist, je höher der Schwellenwert angesetzt wird, ab dem Mietzinsverluste berücksichtigt werden.

²¹ Vgl. Ecoplan / Infrac (2018), Externe Effekte des Verkehrs 2015. Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015. Zürich / Bern.

das Ergebnis des WTI hätte. Die folgende Abbildung zeigt zusammenfassend die untersuchten neuen Annahmen im Vergleich zu den bisherigen Annahmen.

Abbildung 3-3: Annahmen zum Einbezug der Gesundheitsnutzen (Reduktion der Gesundheitskosten)

	Bisherige Annahmen	Untersuchte Alternative
Schwellenwert für Entstehung von lärmbedingten Gesundheitsschäden		Schwellenwert: 48 dB(A) L_{DEN} ²²
Kostensatz pro Person und dB(A) über Schwellenwert	Gesundheitskosten bisher nicht berücksichtigt	15.80 CHF / dB(A) * Person über 48 dB(A) L_{DEN} im Jahr 2015 ²³
Geschäftsliegenschaften		Geschäftsliegenschaften nicht berücksichtigt. ²⁴

Auch hier wurde die methodische Diskussion zu den Annahmen bereits in der Vorstudie auf Basis der aktuellen ARE-Studie zu den externen Kosten des Verkehrs (Stand 2014) geführt. Im nachstehenden Exkurs wird deshalb nur auf die gegenüber der Vorstudie angepassten Kostensätze pro Person und dB(A) über dem Schwellenwert eingegangen.

²² L_{DEN} = Tag-Abend-Nacht-Lärmindex. Durchschnitt aus L_{day} (12 Stunden), $L_{evening}$ (4 Stunden), L_{night} (8 Stunden), wobei $L_{evening}$ und L_{night} mit einem Pegelzuschlag von 5 dB(A), respektive 10 dB(A) belastet werden. In der Schweiz wird der $L_{evening}$ nicht erhoben, weshalb er in der vorliegenden Studie über L_{day} approximiert wird.

²³ In der Studie BSS / B&H (2017) werden mit 8.35 CHF / dB(A) für den Strassenverkehr und 8.37 CHF / dB(A) für den Schienenverkehr wesentlich tiefere Kostensätze angegeben. Für die Begründung des höheren Kostensatzes vgl. die Ausführungen im nachstehenden Exkurs.

²⁴ Siehe hierzu die Ausführungen in Abschnitt 7.3.

Exkurs: Neuer Kostensatz für lärmbedingte Gesundheitskosten

Ecoplan / Infrac (2018) haben im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) die Berechnungen zu den externen Kosten des Verkehrs für das Jahr 2015 aktualisiert und in diesem Zusammenhang auch die lärmbedingten Gesundheitskosten nachgeführt.²⁵

Die Studie wurde im Juli 2018 publiziert und damit erst nach der Vorstudie zur Revision des WTI (2017). Wir empfehlen deshalb für die Ermittlung des Nutzens von Lärmschutzmassnahmen von diesen neuen Erkenntnissen auszugehen. Die folgende Abbildung zeigt die aus Ecoplan / Infrac (2018) abgeleiteten Kostensätze für verkehrslärmbedingte Gesundheitskosten.²⁶ Die Kostensätze decken die lärmbedingten Gesundheitskosten durch ischämische Herzkrankheiten, Herzinfarkt und Bluthochdruck bedingte Krankheiten ab.

Abbildung 3-4: Herleitung Kostensätze für lärmbedingte Gesundheitskosten (Stand 2018)

Verkehrsträger	Lärmbedingte Gesundheitskosten [Mio. CHF]	Lärmbelastung [Mio. dB(A) für alle Personen über 48 dB(A) L _{den}]	Kostensatz [CHF pro dB(A) und Person über 48 dB(A) L _{den}]
Strasse	1'143.15	72.39	15.79
Schiene	247.71	15.64	15.84
Luft	50.96	3.22	15.85
Alle	1'441.83	91.25	15.80
Strasse und Schiene	1'390.87	88.04	15.80

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von Ecoplan & Infrac (2018)

Die Kostensätze sind fast doppelt so hoch wie die in der Vorstudie durch BSS / B&H (2017) vorgeschlagenen Kostensätze. Dies liegt am neu deutlich höher geschätzten VOSL («Value of Statistical Life»), der zu wesentlich höheren lärmbedingten Gesundheitskosten führt, als sie noch für 2010 berechnet wurden.

Bei den in Ecoplan / Infrac (2018) berechneten Gesundheitskosten stützt man sich auf den sogenannten Basiswert für den VOSL von 6.5 Mio. CHF, der eine Bandbreite zwischen 3.3 Mio. CHF und 9.8 Mio. CHF aufweist ($\pm 50\%$). Im Rahmen der vorliegenden Analyse gehen wir für die weiteren Berechnungen auftragsgemäss vom Basiswert aus.²⁷

²⁵ Vgl. Ecoplan / Infrac (2018), Externe Effekte des Verkehrs 2015

²⁶ Eine definitive Berechnung der in Kosten-Nutzen-Analysen zu verwendenden Kostensätze erfolgt im Rahmen der Aktualisierung der VSS-Norm, die in der zweiten Jahreshälfte 2018 vorgenommen wird. Die definitiven Kostensätze in der späteren VSS-Norm können von den hier verwendeten Kostensätzen allenfalls noch leicht abweichen.

3.2.3 Einfluss der Annahmen auf der Kostenseite (Investitionskosten, Kapitalzinssatz und Lebensdauer)

Im aktuellen WTI-Tool sind für Lärmschutzwände zwei **Normkostensätze** definiert, eine «einfache» (900 CHF/m²) und eine «komplexe» (1'700 CHF /m²) Ausführung. Bei lärmarmen Belägen mit Wirkung > 1 dB(A) wird standardmässig ein Kostensatz von 36 CHF / m² vorgegeben.²⁸ Wir prüfen, welche Auswirkungen die Änderung dieser Kostensätze auf die Berechnung des WTI mit der neuen Methodik und damit auf die getroffenen Investitionsentscheidungen hat.

Im bestehenden Berechnungstool zum WTI wird für die Berechnung der Jahreskosten von Lärmschutzmassnahmen standardmässig ein **Zinssatz** von 3.0% eingesetzt. Im heutigen Zinsumfeld ist ein solcher Zinssatz als eher hoch zu erachten. Die Autoren der Vorstudie²⁹ gehen aufgrund des aktuellen Zinsumfelds von einem Wert von 1.9% aus.³⁰ Wir prüfen die Auswirkungen einer solchen Anpassung auf die Investitionsentscheidungen.

Die **Lebensdauer** der Lärmschutzmassnahmen wird im WTI-Tool für Lärmschutzwände in der Regel mit 30 Jahren angenommen, für lärmarme Beläge mit 15 Jahren. Die Angaben in der Umfrage unter den Kantonen weisen darauf hin, dass diesbezüglich eine grosse Bandbreite vorhanden ist. Die Lebensdauer von Lärmschutzwänden wird dabei tendenziell höher, jene von Belägen tendenziell tiefer angegeben. Wir untersuchen, wie sich die Ergebnisse ändern, wenn die Lebensdauer entsprechend variiert wird.

²⁷ Die in den nachstehenden Fallbeispielen ermittelten Gesundheitsnutzen (vgl. dazu die Ausführungen in den Kapiteln 5 und 6) reagieren proportional auf Änderungen beim VOSL. Eine Reduktion des VOSL um 50% auf 3.3 Mio. CHF würde demnach auch die Gesundheitsnutzen um die Hälfte reduzieren. Eine Erhöhung um 50% andererseits würde die Gesundheitsnutzen um 50% erhöhen.

²⁸ Für «Rauhasphalt SDA 8a» wird ein Kostensatz von 34 CHF/m² angenommen. Wir verwenden für die Analyse den höheren Kostensatz von 36 CHF/m², der für Drainbelag (PA) sowie lärmarme Beläge mit Wirkung ≥ 1 dB(A) gilt. Der WTI aller untersuchten lärmarmen Beläge in den Fallbeispielen würde bei Annahme des tieferen Kostensatzes höher ausfallen. Tendenzuell würden damit mehr lärmarme Beläge realisiert. -Mit dem höheren Kostensatz sind die Aussagen der Analyse damit auf der vorsichtigen Seite und die Zahl der lärmarmen Beläge würde mit Sicherheit nicht überschätzt.

²⁹ Vgl. B,S,S / Basler & Hoffmann (2017), Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen. Basel.

³⁰ Vgl. B,S,S / Basler & Hoffmann (2017), Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen. Basel.

4 Kosten von Lärmschutzmassnahmen

Wie im vorangehenden Kapitel erwähnt wurde für die Analyse des potenziellen Anpassungsbedarfs bei den Kennzahlen zu den Lärmschutzkosten eine Umfrage unter den Kantonen durchgeführt. In der Umfrage wurden einerseits detaillierte Angaben zu den Investitions- und Unterhaltskosten von Lärmschutzwänden und lärmarmen Strassenbelägen eingeholt. Andererseits wurden Fragen zur Anwendung des WTI (Häufigkeit), zum Umgang mit dem Ersatz von bestehenden Lärmschutzbauten vor Ablauf der Lebensdauer sowie zur Kombination von Lärmschutzwänden mit lärmarmen Belägen gestellt (der Fragebogen ist in Anhang A, Kapitel 9.4 abgebildet).

Insgesamt haben sich 17 der 26 angefragten Kantone an der Umfrage beteiligt. Die Rücklaufquote beträgt somit rund 65%. Die teilnehmenden Kantone decken rund 75% der Siedlungsflächen sowie 74% der in der Schweiz registrierten Motorfahrzeuge ab. Insgesamt wurden von den 17 Kantonen Angaben zu 216 Vorhaben gemacht, davon 96 mit Lärmschutzwänden und 120 mit lärmarmen Belägen.

4.1 Lärmschutzwände

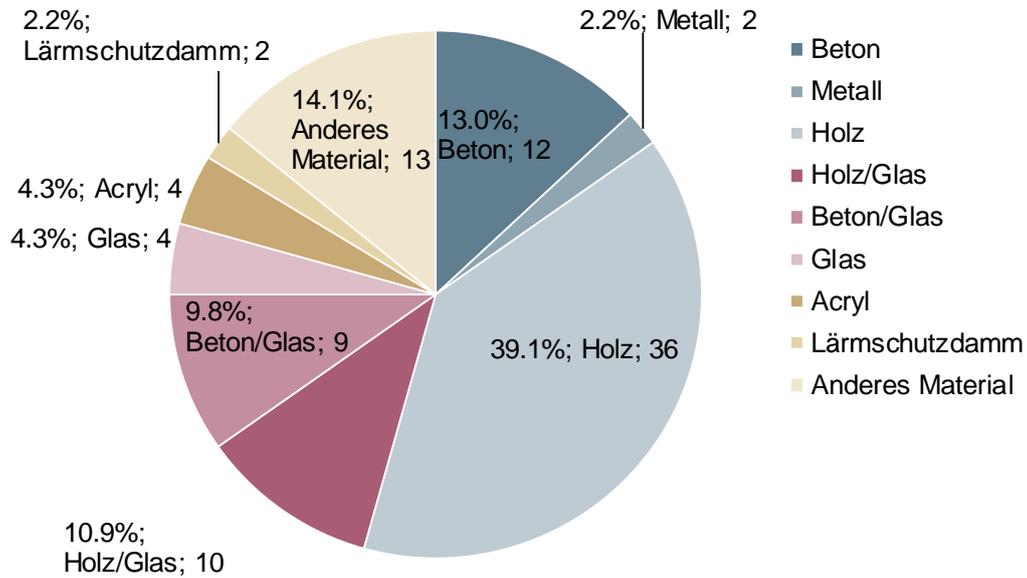
4.1.1 Beschreibung der Daten

Folgende Angaben wurden für jede Lärmschutzwand abgefragt (vorgegebene Auswahlmöglichkeiten in Klammern):

- Materialtyp (Beton, Holz, Metall, Acryl, Lärmschutzdamm, Holz/Glas, Beton/Glas, Anderes Material)
- Höhe der Lärmschutzwand in Metern
- Strassentyp (Kantonsstrasse, Gemeindestrasse, Nationalstrasse, Übrige Strassen)
- Siedlungstyp (Innerorts, Ausserorts, Unbekannt / Beides)
- Investitionskosten in CHF / m²
- Zu den Investitionskosten wurde zusätzlich gefragt, welche Kostenbestandteile die Angabe beinhaltet (Projektierung, Vergabeverfahren, Bauausführung, Bauleitung, Bepflanzung, Andere)
- Jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten (in % der Investitionskosten oder in CHF / m²)
- Lebensdauer der Lärmschutzwand (in Jahren)

Alle gemeldeten Lärmschutzwände betrafen Kantonsstrassen. Die folgenden Abbildungen zeigen die Aufteilung der gemeldeten Massnahmen nach Material und Siedlungstyp.

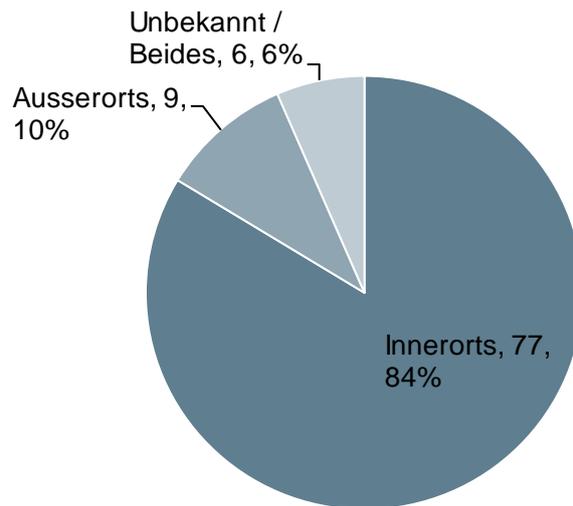
Abbildung 4-1: Gemeldete Lärmschutzwände nach Material



Legende: Erste Zahl: Anteil Nennungen in % aller gemeldeten Projekte
 Zweite Zahl: Anzahl bereitgestellte Projekte

Nach Angaben der Kantone handelt es sich bei «Anderes Material» meist um eine «Steinkorb- wand», um «Spezialstein» oder um «Betonstein».

Abbildung 4-2: Gemeldete Lärmschutzwände nach Strassentyp



Legende: Erste Zahl: Anzahl bereitgestellte Projekte
 Zweite Zahl: Anteil Nennungen in % aller gemeldeten Projekte

Bei der Frage, welche Kostenbestandteile jeweils in der Angabe zu den **Investitionskosten** enthalten sind, fallen die Antworten unterschiedlich aus. Sie unterscheiden sich nicht nur von Kanton zu Kanton, sondern differieren auch zwischen den Projekten.

- Alle Angaben enthalten mindestens die Kosten der *Bauausführung*, fast alle (86%) enthalten zusätzlich die Kosten für die *Projektierung*, 72% für die *Bauleitung* und rund 66% für die *Bepflanzung*. Nur rund 50% enthalten die Kosten des *Vergabeverfahrens* (Ausschreibung etc.) und 22% enthalten «Andere» Kosten, die nicht immer weiter bezeichnet wurden. In den Kommentaren sind für «Andere» beispielsweise Baugesuch, Notar, Geometer, Erfolgskontrolle oder Landerwerb angegeben.
- Etwa die Hälfte aller Kostenangaben (ca. 45% bzw. 41 Lärmschutzwände) enthalten alle oben genannten Elemente (ausser «Andere»). Rund 5% decken 4 Kostenbestandteile ab und 34% drei dieser Elemente.
- Einige Kantone geben in den Bemerkungen an, dass es sich bei den ausgewiesenen Kosten um «Mehrkosten gegenüber Strassenprojekt» oder um «Teilkosten» (noch nicht vollständig realisiert / abgerechnet) handelt. Einige umfassen explizit «externe Projektierungskosten». Einige weisen aus, dass die Kosten «inkl. Stützmauer», «mit Pfahlfundation» / «mit Bohrfundation» oder «Mikropfähle» berechnet sind. Einige enthalten «Schleusen, Türen, Einbuchtungen» oder «Anpassungen am Strassenraum» sowie «Rodungen».

Angaben zu den **Betriebs- und Unterhaltskosten** sowie zur **Lebensdauer** liegen nicht für alle Lärmschutzwände vor.³¹

- Etwa 45% (41 Lärmschutzwände) der gemeldeten Wände zeigen eine Angabe zur Lebensdauer
- Bei ca. 39% (36 Lärmschutzwände) wurde eine Angabe zu den Betriebs- und Unterhaltskosten gemacht (alle in % der Investitionskosten)

Die mittlere **Höhe** aller gemeldeten Lärmschutzwände beträgt (nicht längengewichtet) 2.49 Meter. Die Standardabweichung beträgt 0.65 Meter.

4.1.2 Investitionskosten

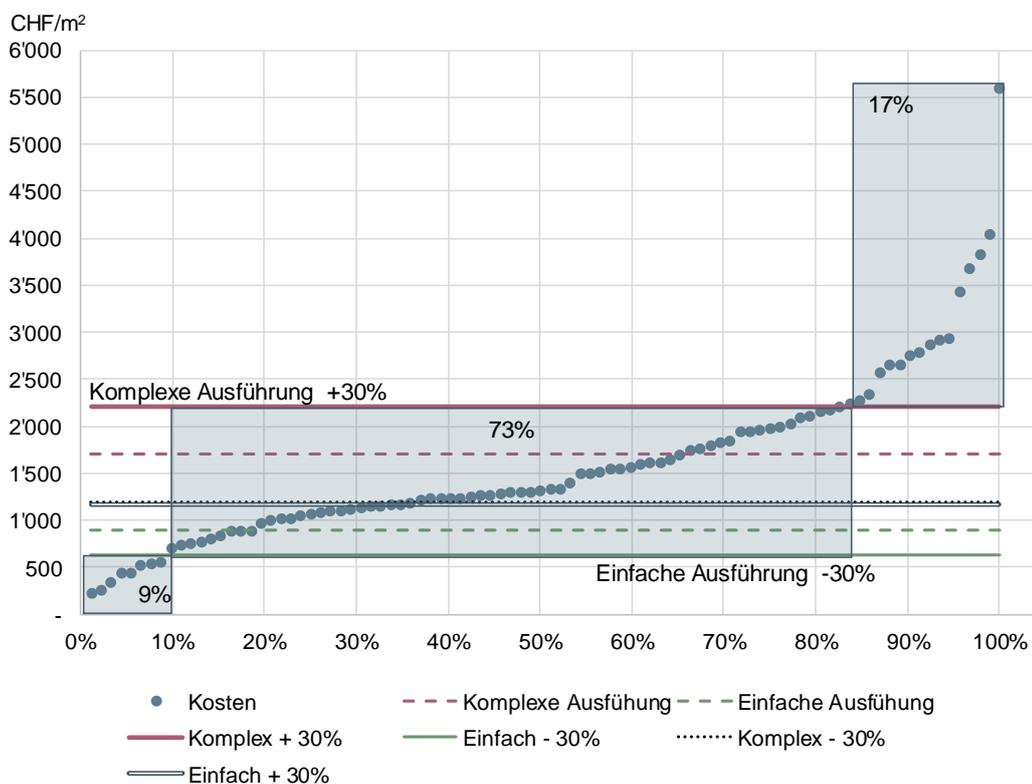
a) Übersicht

Die folgende Abbildung zeigt die Angaben der Kantone zu den Kosten der Lärmschutzwände und stellt sie in einen Vergleich zu den im WTI-Tool enthaltenen Vorgaben zu den Kosten. Das WTI-Tool unterscheidet eine «komplexe Ausführung» (1'700 CHF / m², gestrichelte rote Linie) und eine «einfache Ausführung» (900 CHF / m², gestrichelte grüne Linie). Nachfolgend ist ausgehend von diesen beiden Werten eine Bandbreite von $\pm 30\%$ eingezeichnet, die sich in der Mitte treffen. Rund 73% der von den Kantonen gelieferten Kostenangaben liegen innerhalb

³¹ Teilweise wird dies durch die Kantone dadurch begründet, dass die Lärmschutzmassnahmen erst in den letzten Jahren realisiert wurden. Die Erfahrungen liessen deshalb noch keine Angabe zu. Teilweise liegt der Betrieb und Unterhalt auch in einer anderen Zuständigkeit als die Planung und Realisierung von Lärmschutzmassnahmen.

dieser Bandbreite. Etwa 17% der Angaben liegen oberhalb dieser Bandbreite und 9% unterhalb dieser Bandbreite.

Abbildung 4-3: Lärmschutzwände: Investitionskosten in CHF / m²

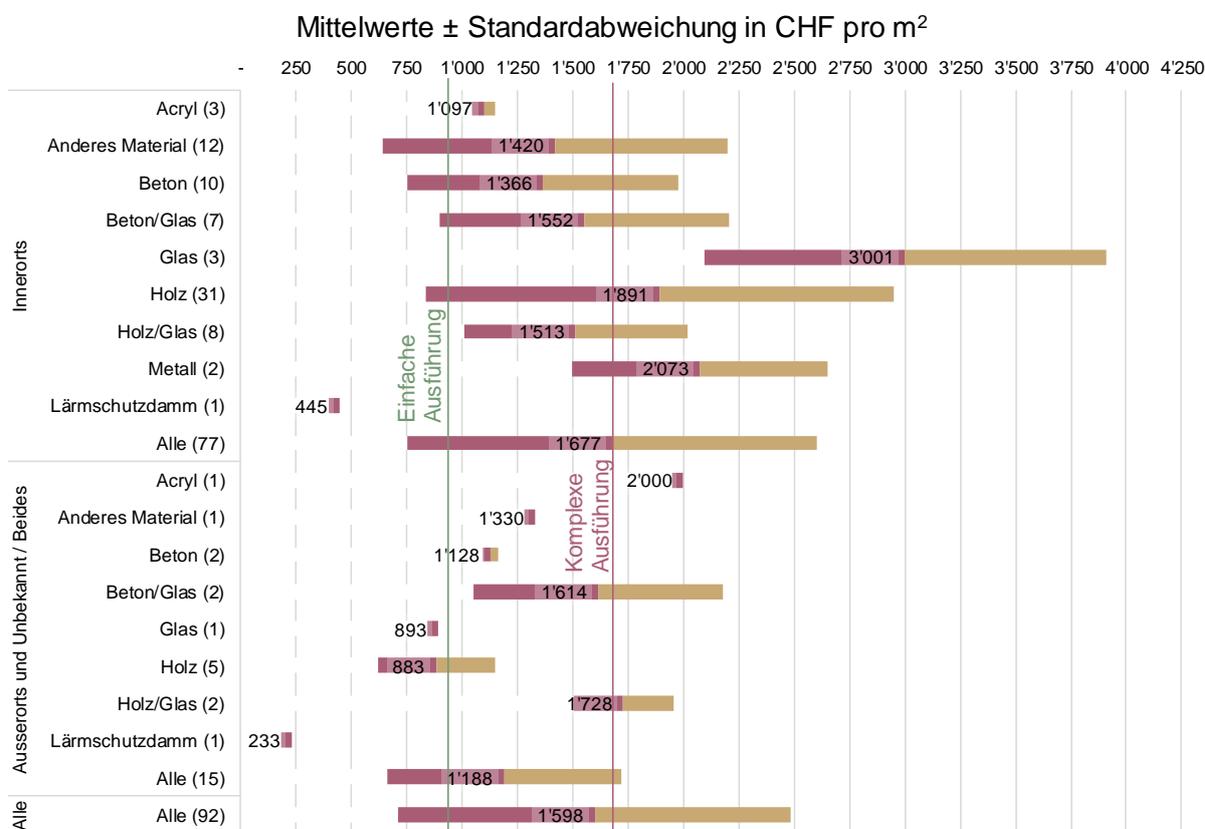


b) Mittelwerte nach Siedlungstyp und Material

Die folgende Abbildung zeigt die Mittelwerte und Bandbreite (\pm Standardabweichung) für die Investitionskosten pro m² Lärmschutzwand, differenziert nach Siedlungstyp³² und Material. Eingezeichnet sind auch die aktuell vorgegebenen Werte im WTI-Tool für eine einfache bzw. komplexe Ausführung (grüne bzw. rote Linie).

³² Die Angaben zu «Ausserorts» und «Unbekannt / Beides» wurden zu einer Kategorie zusammengefasst.

Abbildung 4-4: Investitionskosten der Lärmschutzwände pro m² (ohne Korrektur der enthaltenen Kostenbestandteile), Anzahl Beobachtungen in Klammern



Insgesamt handelt es sich um einen relativ kleinen Datensatz, mit wenig Beobachtungen pro Kategorie. Aussagekräftige Rückschlüsse zu den Kosten innerhalb einer Kategorie sind deshalb nicht möglich. Es lassen sich aus den Mittelwerten und den Bandbreiten aber Tendenzen ableiten:

- Über alle angegebenen Lärmschutzwände liegt der Mittelwert der berücksichtigten Investitionskosten bei 1'598 CHF / m².³³ In der Tendenz zeigen sich einzig die Lärmschutzwände aus Glas teurer als alle übrigen Materialien. Ansonsten lassen die Analysen zum Material keine klaren Aussagen zu, auch weil jeweils in den Kostenangaben unterschiedliche Kostenbestandteile enthalten sind. Fast alle Kategorien mit mehreren Beobachtungen weisen zudem grosse Bandbreiten für die Kosten pro m² auf. Der Mittelwert für die am häufigsten anzutreffende Lärmschutzwand mit Holz / Innerorts liegt bei 1'891 CHF / m².

Diese Werte deuten darauf hin, dass andere Merkmale einer Lärmschutzwand deutlich grösseren Einfluss auf die Kosten ausüben als das Material bzw. das Material als Erklärungsvariable nicht ausreicht. Eine Aussage in der Umfrage (Kanton ZH) weist darauf hin,

³³ Diese Größenordnung deckt sich auch mit den telefonisch gemachten Aussagen des Amtes für Raumplanung, Abteilung Lärmschutz des Kantons Basel-Land (A. Stöcklin, 18.6.2018), der keine schriftlichen Angaben liefern konnte. Die Erfahrungen zeigen dort, dass der Kostensatz bei rund 1'500 CHF pro m² liegt.

dass die Kosten auch von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst werden. Diese Variable liegt im Datensatz nicht vor und kann deshalb nicht überprüft werden. Eine telefonische Auskunft aus dem Kanton Tessin weist auf den wichtigen Kostentreiber des Landerwerbs hin. Gewisse Kantone sind beispielsweise dazu verpflichtet, das Land für den Bau von Lärmschutzwänden zu erwerben.

- Lärmschutzwände sind auf Ausserortsstrassen in der Tendenz günstiger als innerorts. *Dies wäre insbesondere durch die geringere Komplexität beim Bauen ausserorts erklärbar. Innerorts sind oft zusätzliche Schwierigkeiten aufgrund des starken Verkehrs, der engen Verhältnisse, den hohen Landerwerbskosten oder der dichten Bebauung zu erwarten oder es werden höhere Ansprüche an die Optik der Lärmschutzwände gestellt.*
- Die enthaltenen Kostenelemente unterscheiden sich stark zwischen den Kantonen, aber auch innerhalb der einzelnen Kantone. Die Quadratmeterkosten steigen dabei tendenziell an, wenn neben der immer enthaltenen Bauausführung zusätzliche Kostenelemente wie die Projektierung oder Bauleitung einbezogen werden. Bei den beiden im Datensatz enthaltenen Lärmschutzdämmen, die sehr geringe Kosten aufweisen, ist beispielsweise jeweils nur die Bauausführung im Kostensatz enthalten.

4.1.3 Betriebs- und Unterhaltskosten

Zu den Betriebs- und Unterhaltskosten liegen aus den Kantonen nur 36 Angaben (39%) vor. Dies ist einerseits auf die noch wenigen belastbaren, aus der Praxis gewonnenen Erfahrungen zurückzuführen. Andererseits wird in vielen Kantonen der Betrieb- und Unterhalt der Lärmschutzwände von einer anderen Abteilung oder einer anderen Stelle gewährleistet.³⁴ In der Regel werden deshalb grobe Annahmen getroffen.

Die Betriebs- und Unterhaltskosten bei Holz liegen meist bei 1.0 oder 2.0% der Investitionskosten, in einzelnen Fällen bei 3.0% oder 4.0%. Bei sieben von acht Angaben zu «Anderem Material» (z.B. «Steinkörbe», «Spezialstein») liegt der Wert bei 2%, in einer Angabe wurde 1% angenommen. Für alle übrigen Materialien wurde 1% angegeben.³⁵

³⁴ Vermutlich ist es sogar so, dass die spezifischen für den Betrieb- und Unterhalt der Lärmschutzwände anfallenden Kosten im Rahmen des Strassenunterhalts bzw. des Betriebs der Strassen gar nicht separat erfasst / erhoben werden.

³⁵ Dies entspricht der im WTI-Tool enthaltenen Standardangabe von 1.0% für alle Lärmschutzwände, Dämme oder Überdeckungen.

Abbildung 4-5: Angaben zu Betrieb- und Unterhaltskosten der Lärmschutzwände, absteigend sortiert nach Mittelwert

	Sample (Anzahl Angaben)	Mittelwert (in % der Investitionskosten)	Standardabweichung (in % der Investitionskosten)
Anderes Material	8	1.88	0.33
Holz	16	1.44	0.93
Annahme im WTI-Tool		1.00	
Metall	2	1.00	-
Acryl	1	1.00	-
Holz/Glas	5	1.00	-
Beton	1	1.00	-
Beton/Glas	1	1.00	-
Glas	2	1.00	-
Lärmschutzdamm	k.A.	k.A.	
Alle	36	1.39	0.72

4.1.4 Lebensdauer

Die folgende Abbildung zeigt die deskriptive Statistik zur Lebensdauer der Lärmschutzwände. Angaben zur Lebensdauer sind nur für 41 Lärmschutzwände (45%) im Sample vorhanden. Die Kantone geben für die fehlenden Angaben an, dass noch zu wenig Erfahrung mit der Lebensdauer besteht. Bei der Interpretation ist zudem zu berücksichtigen, dass die Kantone die Lärmschutzwände teilweise aktiv auf eine bestimmte Lebensdauer ausrichten. Die Lebensdauer ist damit auch teilweise ein Entscheid im Rahmen der Massnahmenplanung und -optimierung im generellen Strassenunterhalt.

Im Durchschnitt über alle Angaben beträgt die angenommene Lebensdauer 34 Jahre, mit einer Standardabweichung von 7.6 Jahren.

Abbildung 4-6: Angaben zur Lebensdauer der Lärmschutzwände, absteigend sortiert nach Mittelwert

Material / Typ	Sample (Anzahl Angaben)	Mittelwert (Jahre)	Standardabweichung (Jahre)
Anderes Material ³⁶	8	40	-
Beton / Glas	1	40	-
Glas	2	40	-
Holz / Glas	6	37	7.5
Metall	2	35	5.0
Holz	19	31	8.2
<i>Annahme im WTI-Tool</i>		30	
Acryl	1	30	-
Beton	2	28	2.5
Lärmschutzdamm	k.A.	k.A.	k.A.
Gesamtergebnis	41	34	7.6

Ob das Material einen signifikanten Einfluss auf die Lebensdauer hat, lässt sich allein aus der Mittelwertbetrachtung nicht herleiten. Für eine belastbare Aussage ist das Sample zu klein. Für die vorhandenen Angaben lässt sich in der Tendenz folgendes feststellen:

- Lärmschutzwände mit Beton, Acryl und Holz weisen im Mittel die tiefste erwartete Lebensdauer auf, im Durchschnitt 28, 30 resp. 31 Jahre.
- Bei Beton/Glas, Glas und «Anderes Material» (meist «Steinkorb») geht man von mindestens 40 Jahren aus. Auch ein grosser Teil der aus Holz/Glas bestehenden Lärmschutzwände erreichen gemäss Angaben der Kantone 40 Jahre.
- Lärmschutzwände aus Holz weisen die grösste Bandbreite (Standardabweichung) auf. Einzelne Lärmschutzwände aus Holz oder mit Holzbestandteil und Glas weisen das Minimum der angegebenen Lebensdauer von 20 Jahren auf.

Bisher wurde im WTI-Tool für Lärmschutzwände von einer Lebensdauer von 30 Jahren ausgegangen. Diese Annahme trifft im Durchschnitt in etwa die Angaben der Kantone. Es ist aber davon auszugehen, dass je nach Bauart und Material auch eine deutlich längere Lebensdauer erreicht werden kann. Insbesondere bei Lärmschutzwänden mit Holzbestandteilen kann die Lebensdauer aber auch kürzer ausfallen.

³⁶ Meist sind damit «Steinkörbe» gemeint.

4.1.5 Fazit und Handlungsbedarf

a) Investitionskosten

Die in der Umfrage angegebenen Kostensätze für Lärmschutzwände weisen eine grosse Bandbreite auf. Sie werden durch die Wahl des Materials, aber auch durch die Komplexität der Umgebung und der Massnahme beeinflusst. Auch weitere Einflüsse wie notwendiger Landerwerb oder Nacharbeit beeinflussen die Kosten der Lärmschutzwand. Nicht zuletzt spielt auch die gewählte Abgrenzung der Kosten (z.B. Voll- oder Zusatzkosten, nur Bauausführung oder Einbezug anderer Kosten) eine bedeutende Rolle.

Der Vergleich der Umfragewerte mit den im WTI-Tool vorgegebenen Kostenbandbreiten lässt erkennen, dass mit den Bandbreiten nur rund 72% der Umfragewerte abgedeckt sind. Bei dieser Ausgangslage ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- **Verzicht auf eine Anpassung:** Mit den beiden bestehenden Vorgabewerten im WTI-Tool sind rund 72% der in der Umfrage genannten Projekte abgedeckt. Rund 18% werden bei diesem Vorgehen weiterhin nicht repräsentiert.
- **Erweitern mit zusätzlichen Kategorien:** Um beispielsweise rund 85% mit der Bandbreite abdecken zu können, könnte die «einfache Ausführung» bei 800 CHF angesetzt werden (15% der genannten Werte würden bei dieser Vorgabe innerhalb der Bandbreite von $\pm 30\%$ um diese neue Vorgabe liegen) und die «komplexe Ausführung» bei 2'800 CHF³⁷ (20% der genannten Werte). Weil dann in der Mitte viele Werte nicht abgedeckt würden, empfiehlt es sich, eine dritte Kategorie «mittlere Ausführung» einzuführen, z.B. mit einem Betrag von 1'500 CHF (51% der Fälle).
- **Vollständige Flexibilisierung:** Eine Flexibilisierung könnte auch dahin gehen, dass statt Normkosten nur noch projektspezifische Grobkostenschätzungen eingesetzt werden dürfen.

Wird auf eine Anpassung verzichtet oder eine Erweiterung ins Auge gefasst, ist es wichtig, nicht nur Kostenkategorien vorzugeben, sondern für diese auch genauer zu definieren, wann welche Kategorie anzuwenden ist.³⁸

Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist der **Ansatz der vollständigen Flexibilisierung** zu favorisieren: Es ist volkswirtschaftlich wenig sinnvoll, an kostengünstigen Standorten auf Lärmschutzwände zu verzichten, nur weil bei der Ermittlung des WTI zu hohe Normkosten angesetzt wur-

³⁷ Die neue Vorgabe für die komplexe Ausführung wurde so festgelegt, damit die untere Grenze (-30%) für die komplexe Ausführung die obere Bandbreite von +30% der neuen «mittleren Ausführung» berührt. Die untere Grenze der «mittleren Ausführung» berührt die obere Grenze der «einfachen Ausführung».

³⁸ Denkbar wären folgende Hinweise:

Hinweise auf einfache Ausführung: Ausserorts, einfache Siedlungsstruktur, niedrige Ansprüche an Gestaltung, ohne Landerwerb und Foundation

Hinweise auf mittlere Ausführung: Innerorts, Gestaltung sekundär, mit Landerwerb, mit oder ohne Foundation, mit Bepflanzung

Hinweise auf komplexe Ausführung: Innerorts, komplexe Siedlungsstruktur, hohe Ansprüche an Gestaltung, mit Landerwerb, mit Foundation und Bepflanzung, Brückenkonstruktion

den. Und umgekehrt ist es volkswirtschaftlich ebenso bedenklich, an kostenintensiven Standorten Lärmschutzwände zu realisieren, weil bei der WTI-Beurteilung im Vergleich zu den tatsächlich anfallenden Kosten zu tiefe Normkosten eingesetzt werden.

Dieser Argumentation lässt sich ein «Gleichbehandlungsgebot» entgegenhalten: Lärmbelastete Personen sollen wegen eines allenfalls kostenintensiven Standorts im Vergleich zu ebenso lärmbelasteten Personen an einem günstigen Standort nicht benachteiligt werden. Streng genommen wird dieses Gleichbehandlungsprinzip aber bereits heute mit der Vorgabe von zwei Normwerten (je einer für eine einfache bzw. komplexe Ausführung) relativiert. Zudem ist bisher der tiefere bzw. höhere Normwert nur nach dem eingesetzten Typ des Fundaments (Pfahl- oder Streifenfundation) differenziert, für den die Vorstudie zum Schluss kam, dass zwischen diesen beiden «kein signifikanter Kostenunterschied» zu erkennen sei (siehe folgender Exkurs).³⁹ Bezüglich der anderen Einflussgrössen (z.B. Material, Komplexität des Umfelds, innerorts / ausserorts, Landerwerb etc.) besteht immer noch ein grosser Spielraum und damit auch eine gewisse Zufälligkeit im Ergebnis, wenn auf Normkosten abgestellt wird.

Exkurs: Vergleich mit Erkenntnissen und Empfehlungen der Vorstudie zu den Kosten

Die Daten der Vorstudie decken drei Kantone (repräsentieren die Kategorien «Stadt», «Agglomeration» und «Land»), eine Stadt und die Bundesämter ASTRA (Strasse) und BAV (Eisenbahn) ab. Die Vorstudie kam basierend darauf zum Schluss, dass die durchschnittlichen Kosten einer Lärmschutzwand pro Quadratmeter stark abhängen von der Fläche der Wand, ob sie in städtischem / ländlichem Gebiet steht und aus welchem Material (transparent / massiv) sie besteht. Für die Art des Fundaments (Pfahl- oder Streifenfundation) war hingegen «kein signifikanter Unterschied» zu erkennen. Bei einem Wegfall des Fundaments (z.B. mit Steinkörben) sinken jedoch die Kosten deutlich.

Vergleich mit der vorliegenden Studie:

- Die Differenzierung der Kosten nach **Material** sowie nach **Standort** (innerorts/ausserorts) konnte im Rahmen der vorliegenden Studie in der Tendenz bestätigt werden.
- Der Einfluss der **Fläche der Wand** lässt sich über Skaleneffekte erklären. Diese sind durch die Fixkosten der Planung, Projektierung und Baustelleneinrichtung zu begründen. Die Autoren der Vorstudie weisen dabei darauf hin, dass auch der Kontext des Baus einer Lärmschutzwand (im Rahmen einer Strassensanierung oder als eigenständiges Projekt) für hohe oder tiefe Fixkosten verantwortlich sein kann, der aber mit den Daten der Vorstudie nicht erhoben werden konnte. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die Abgrenzung der Kosten in den Kantonen sehr unterschiedlich gehandhabt wird. Nicht alle beziehen die mit Skaleneffekten belegten und von Synergien profitierenden Planungs- und Projektierungskosten überhaupt erst in die Berechnung der Kosten mit ein.
- Die **Art des Fundaments** wurde in der vorliegenden Studie nicht mehr erfasst, weil der Einfluss in der Vorstudie als nicht signifikant eingeschätzt wurde.

³⁹ In der Vorstudie war für die Art des Fundaments (Pfahl- oder Streifenfundation) bei den Kosten «kein signifikanter Unterschied» zu erkennen.

Insgesamt bestätigen und ergänzen sich die beiden Erhebungen.

b) Betrieb und Unterhalt

Betriebs- und Unterhaltskosten von 1.0% der Investitionskosten scheinen gemäss den Angaben der Kantone eine gute Annahme zu sein. Eine Abweichung davon sollte aber im Einzelfall mit einer plausiblen Begründung möglich sein. Eine Flexibilisierung ist vor allem denkbar, um alternativen Materialien (z.B. Steinkörbe) oder hohen Ansprüchen an die Gestaltung, wie sie oft innerorts gelten, gerecht werden zu können.

c) Lebensdauer

Die Lebensdauer von Lärmschutzwänden hängt wesentlich vom verwendeten Material ab. Bei den am häufigsten eingesetzten Materialien liegt die Lebensdauer bei 30 Jahren. Bei Lärmschutzwänden aus Glas könnte sie auf 40 Jahre erhöht werden. Derzeit ist im WTI-Tool für Lärmschutzwände pauschal von 30 Jahren ausgegangen worden. Eine Abweichung davon sollte im Einzelfall mit einer plausiblen Begründung möglich sein.

4.2 Lärmarme Beläge

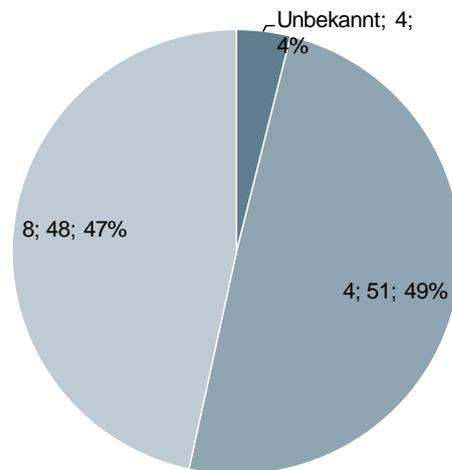
4.2.1 Beschreibung der Daten

Folgende Angaben wurden für jeden lärmarmen Belag abgefragt (vorgegebene Auswahlmöglichkeiten oder Einheiten in Klammern):

- Belagstyp (individuelle Bezeichnung möglich)
- Strassentyp (Kantonsstrasse, Gemeindestrasse, Nationalstrasse, Übrige Strassen)
- Siedlungstyp (Innerorts, Ausserorts, Unbekannt / Beides)
- Investitionskosten pro Fläche (in CHF / m²)
- Zu den Investitionskosten wurde zusätzlich gefragt, welche Kostenbestandteile die Angabe beinhaltet (Projektierung, Vergabeverfahren, Bauausführung, Bauleitung, Bepflanzung, Andere)
- Jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten (in % der Investitionskosten oder in CHF / m²)
- Lebensdauer des lärmarmen Belags (in Jahren)

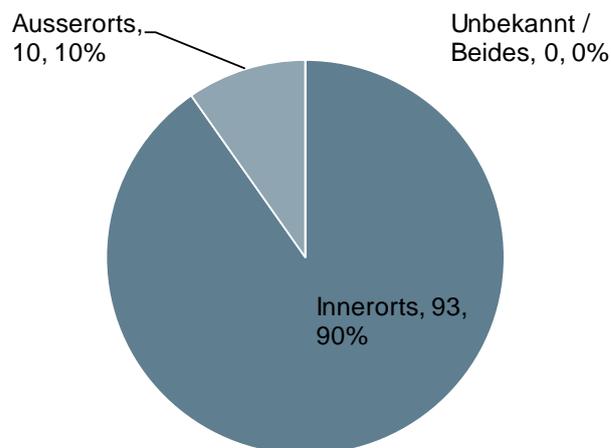
Insgesamt wurden von den Kantonen Angaben zu 120 Vorhaben mit lärmarmen Belägen bereitgestellt. 82% der gemeldeten lärmarmen Beläge betrafen Kantonsstrassen, die verbleibenden 18% Gemeindestrassen. Die folgenden Abbildungen zeigen die Aufteilung der gemeldeten Massnahmen nach Korngrösse (abgeleitet aus dem angegebenen Belagstyp, z.B. 4mm für SDA4) sowie nach Siedlungstyp (Innerorts / Ausserorts).

Abbildung 4-7: Gemeldete lärmarme Beläge nach Korngrösse in mm



Legende: Erste Zahl: Korngrösse
 Zweite Zahl: Anzahl bereitgestellte Projekte
 Dritte Zahl: Anteil Nennungen in % aller gemeldeten Projekte

Abbildung 4-8: Gemeldete lärmarme Beläge nach Siedlungstyp



Von den 120 gemeldeten Projekten zu lärmarmen Belägen wurden bei 103 Projekten (86%) auch **Angaben zu den Investitionskosten** mitgeliefert. Etwa 80% oder 83 der gemeldeten Beispiele zu lärmarmen Belägen enthalten eine Angabe zur **Lebensdauer**. Lediglich bei zwei Beispielen liegen Angaben zu den **Betriebs- und Unterhaltskosten** vor.⁴⁰ Die Projekte ohne Kostenangabe wurden aus der nachfolgenden Analyse ausgeschlossen, so dass sich nachfolgenden Angaben auf die jeweils 103 Vorhaben mit Kostenangaben beziehen.

⁴⁰ Dies liegt insbesondere am Umstand, dass lärmarme Beläge erst seit wenigen Jahren häufiger eingesetzt werden und daher bei den meisten Kantonen noch keine verlässlichen Erfahrungswerte zu den durchschnittlichen Betriebs- und Unterhaltskosten vorliegen. Teilweise werden die Daten zu den Betriebs- und Unterhaltskosten auch durch andere Stellen erhoben, so dass die Daten bei der angefragten Stelle nicht zur Verfügung standen.

Die Bestandteile zu den Angaben zu den **Investitionskosten** unterscheiden sich stark von Kanton zu Kanton:

- Alle Angaben enthalten mindestens die Kosten der *Bauausführung*⁴¹, 79% enthalten die *Bauleitung* und 62% die *Projektierung*. Nur rund 33% enthalten die Kosten des *Vergabeverfahrens* (Ausschreibung etc.), und je 1% die *Bepflanzung* oder «Andere».
- Etwa 36% der Kostenangaben enthalten alle obgenannten Elemente (ohne «Andere» und ohne «Bepflanzung»). Etwa 30% enthalten drei Elemente und 22% zwei Elemente. Etwa 12% enthalten nur eine Angabe (nur Bauausführung).

4.2.2 Investitionskosten

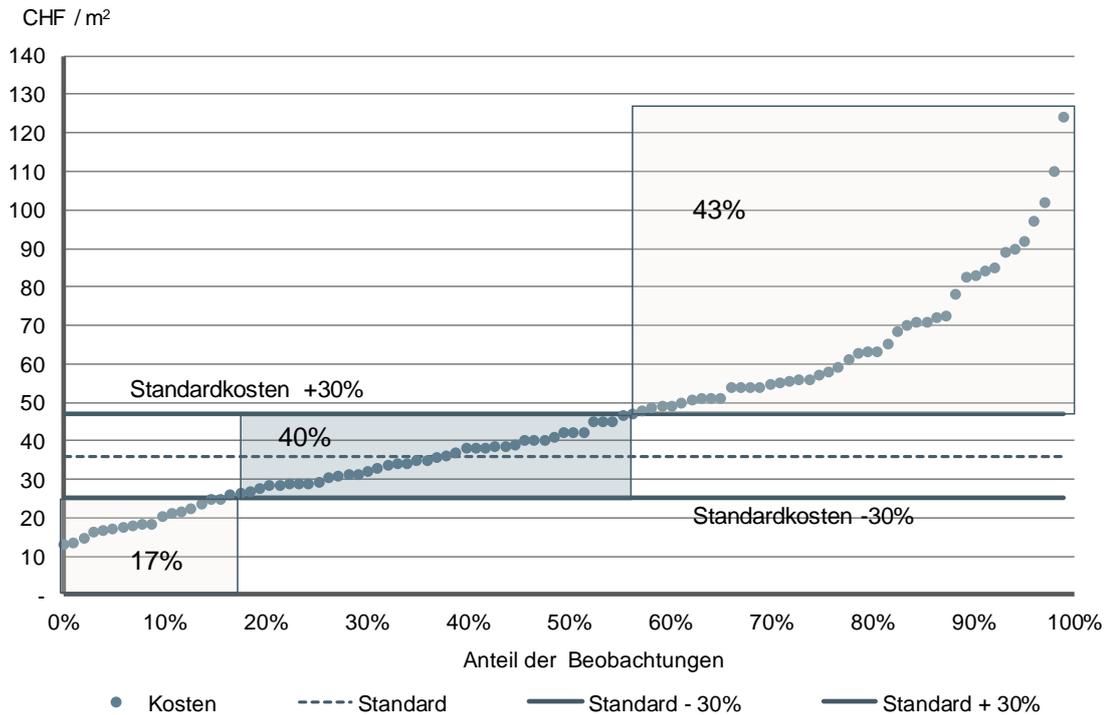
a) Übersicht

Die folgende Abbildung zeigt die Kosten der gemeldeten Vorhaben in CHF / m² geordnet von tiefen, hin zu hohen Kosten. Eingezeichnet ist als Vergleich bzw. zur Einordnung die im WTI-Tool angenommene Kostenbandbreite eines lärmarmen Belags rund um den Wert von 36 CHF/m² ± 30% («Standard» in der Abbildung). Die Angaben der Kantone zu den Kosten der Beläge liegen nur zu 40% innerhalb dieser Bandbreite. Rund 17% der Kostenangaben liegen unterhalb dieser Bandbreite und etwa 43% über dieser Bandbreite.⁴²

⁴¹ In einem Kanton haben wir die Angabe «Deckschichten liefern, einbauen und verdichten» als «Bauausführung» interpretiert. Dies betrifft 9 Projekte mit lärmarmen Belägen.

⁴² Mit der Kostenannahme im WTI-Tool sind demnach rund 60% der real angefallenen Kosten für lärmarme Beläge nicht abgedeckt.

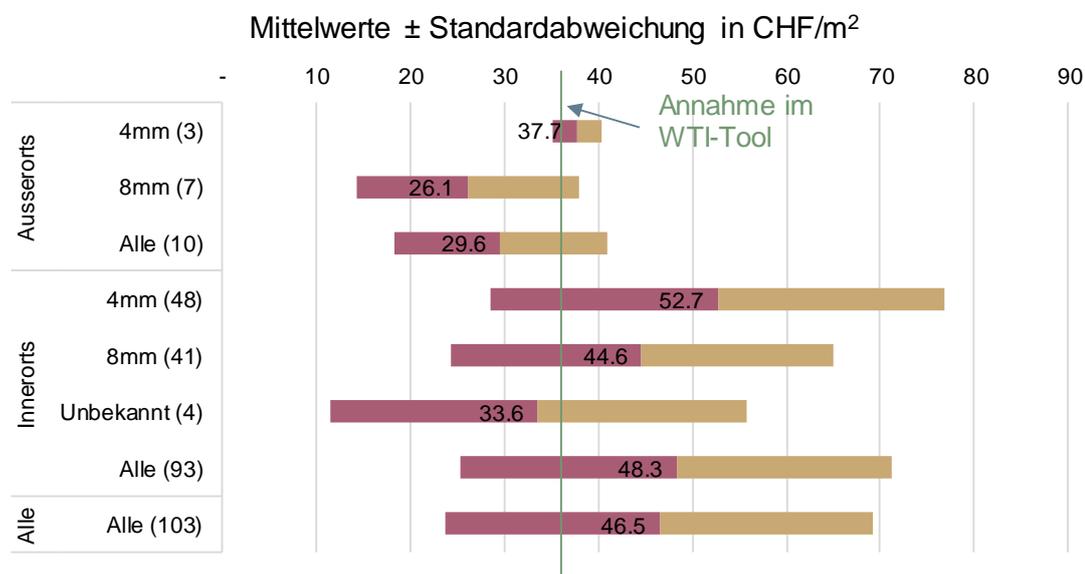
Abbildung 4-9: Kosten der lärmarmen Beläge im Sample



b) Mittelwerte nach Siedlungstyp und Korngrösse

Die folgende Abbildung zeigt den Mittelwert der Investitionskosten pro m² zusammengefasst nach Siedlungstyp und abgeleiteter Korngrösse. Eingezeichnet ist wiederum auch der aktuelle Vorgabewert im WTI-Tool (grüne Linie). Der Mittelwert über alle Vorhaben liegt bei 46.5 CHF / m², mit einer Standardabweichung von 22.8 CHF/m².

Abbildung 4-10: Investitionskosten pro m² lärmarmen Belag (ungewichtet), differenziert nach Strassentyp und Korngrösse, Anzahl Beobachtungen in Klammer



Siedlungstyp	Korngrösse	Mittelwert (in CHF/m ²)	Standardabweichung (in CHF/m ²)	Samplegrösse (Anzahl)
Ausserorts	4mm	37.7	2.6	3
	8mm	26.1	11.8	7
	Alle	29.6	11.3	10
Innerorts	4mm	52.7	24.1	48
	8mm	44.6	20.4	41
	Unbekannt	33.6	22.1	4
	Alle	48.3	23.0	93
Alle	Alle	46.5	22.8	103

Die durchschnittlichen Belagskosten pro m² betragen über alle 103 Vorhaben 46.5 CHF/m². Diese beinhalten unterschiedliche Kostenbestandteile und es werden unterschiedliche Typen / Korngrössen verwendet. Lärmarme Beläge auf Innerortsstrassen sind im Durchschnitt der Auswertung rund 12 CHF / m² oder 30% teurer als auf Ausserortsstrassen. Aufgrund des kleinen Samples bei Ausserortsstrassen und der grossen Streuung bei Innerortsstrassen (Standardabweichung \pm 44%) ist der Unterschied voraussichtlich nicht aussagekräftig genug.⁴³

Die Auswertung zeigt insgesamt vergleichsweise grosse Schwankungen in den Kostenangaben. Über alle Beobachtungen liegt die Standardabweichung bei 21.9 CHF / m², was rund 44% des Mittelwerts von 49.3 CHF / m² entspricht. Dies ist mehr als die üblicherweise für frühe Kostenschätzungen angenommenen \pm 30% oder sogar \pm 20%.

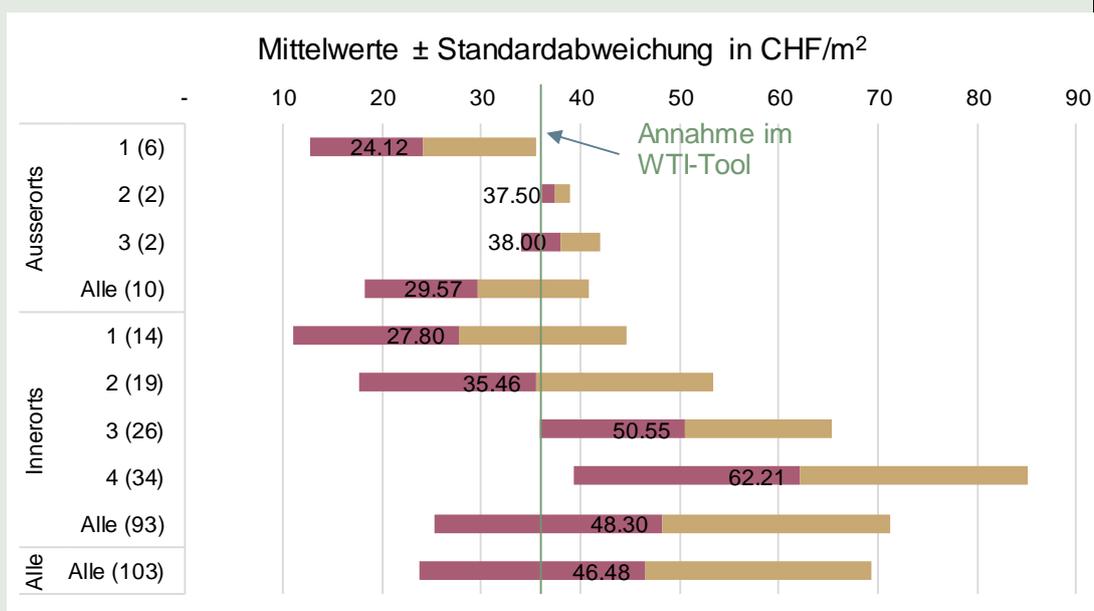
⁴³ Darauf deutet u.a. hin, dass beispielsweise die Kostenunterschiede nach Korngrösse zwischen den Siedlungstypen widersprüchlich sind: Innerorts sind Beläge mit Korngrösse 4mm im Durchschnitt teurer als 8mm. Ausserorts ist das Verhältnis umgekehrt. Dies lässt vermuten, dass die Korngrösse kaum einen Einfluss auf die Investitionskosten hat.

Eine Erklärung für die grosse Bandbreite ist, dass unterschiedliche Kostenelemente einbezogen wurden (vgl. nachfolgender Exkurs).

Exkurs: Bedeutung der Anzahl einbezogener Kostenbestandteile

Die in der Umfrage angegebenen Kosten steigen im Mittelwert deutlich an, wenn neben der eigentlichen Bauausführung auch weitere Kostenelemente wie Projektierung oder Bauleitung einbezogen werden. Die Kantone gehen dabei sehr unterschiedlich vor bzw. geben unterschiedliche Kostenbestandteile an. Die folgende Abbildung zeigt die Investitionskosten in Abhängigkeit der Anzahl einbezogener Kostenbestandteile. Die Abbildung verdeutlicht, wie wichtig die Abgrenzung der einzubeziehenden Kostenelemente ist, um die tatsächlichen Kosten eines lärmarmen Belags zu ermitteln.

Abbildung 4-11: Investitionskosten pro m² lärmarmen Belag (ungewichtet), differenziert nach Strassentyp und Anzahl Kostenelemente, Anzahl Beobachtungen in Klammer



Bei den Innerortsstrassen zeigt sich in den Mittelwerten eine deutliche Abstufung der Kosten pro m² je nachdem wie viele der vorgegebenen Kostenbestandteile (1, 2, 3 oder 4) einbezogen wurden. Bei den Ausserortsstrassen ist die Beziehung weniger deutlich.

Eine Aufschlüsselung der Kosten nach den einzelnen Bestandteilen ist nicht möglich. Es ist zudem denkbar, dass weitere Einflüsse ebenfalls relevant sind, die möglicherweise mit der Umfrage noch nicht erfasst wurden.⁴⁴

4.2.3 Betriebs- und Unterhaltskosten

Die Betriebs- und Unterhaltskosten von lärmarmen Belägen wurden als Angabe in % der Investitionskosten abgefragt. Wie erwähnt liegen hierzu keine Angaben vor, weil die Kantone zum Teil noch keine ausreichende Erfahrung mit solchen Belägen haben, oder weil teilweise die Angaben von einer anderen Stelle erhoben, oder gar nicht erfasst werden.

4.2.4 Lebensdauer

Für 83 der 103 Vorhaben mit Kostenangabe liegt eine Angabe zur Lebensdauer vor. Die Lebensdauern der lärmarmen Beläge liegen bei diesen Beispielen zwischen 8 und 20 Jahren. Der Mittelwert liegt bei 13.2 Jahren, mit einer Standardabweichung von 3.6 Jahren.⁴⁵ Dies zeigt die folgende Abbildung.

Abbildung 4-12: Statistische Angaben zur Lebensdauer der lärmarmen Beläge

	Anzahl Beobachtungen	Mittelwert Lebensdauer (Jahre)	Standardabweichung (Jahre)
AC MR	13	20.0	-
<i>Angaben im WTI-Tool («SDA 8a» und «lärmarme Beläge mit Wirkung ≥ 1 dB(A)»)</i>		15	
SDA 8	24	13.7	2.4
SDA 4	40	11.5	1.1
<i>Angaben im WTI-Tool: «Drainbelag» (PA)</i>		10	
DASK	3	8.0	-
MoaMikro 5	3	8.0	-
Gesamtergebnis	83	13.2	3.6

⁴⁴ Hinweise darauf geben auch die telefonischen Auskünfte aus dem Kanton Tessin. Die Kosten des Einbaus lärmarmen Beläge sind demnach stark abhängig davon, ob der Belag mit oder ohne Binderschicht (bituminöse Schicht zwischen Asphalttragschicht und Asphaltdeckschicht) gelegt wird und ob die Arbeit in der Nacht durchgeführt werden muss. Die Nacharbeit erklärt gemäss der Auskunft eine Kostendifferenz von 20-30 CHF / m².

⁴⁵ Zum Vergleich: Das WTI-Tool gibt eine Lebensdauer für SDA8-Beläge von 15 Jahren an. Für einen «Drainbelag (PA)» wird eine Lebensdauer von 10 Jahren angegeben. Für den Referenzbelag werden ebenfalls 15 Jahre angenommen.

Wenn man einzelne Massnahmen betrachtet, liegt die überwiegende Mehrheit der Lebensdauern bei 10, 12 oder 15 Jahren. Die höchste Lebensdauer wird für den Typ «AC MR 8» angegeben, die bei 20 Jahren liegt. Eine Lebensdauer von 8 Jahren wird für die selten eingesetzten Typen «DASK 4» und «MoaMikro 5» (je 3 Beobachtungen) angegeben.

Die Lebensdauer scheint dabei insbesondere abhängig vom eingesetzten Typ (SDA8, SDA4 etc.). Der Typ bzw. die Klasse «SDA8» weist meist die höhere Lebensdauer auf als «SDA4». Einzelne Kantone geben jedoch für SDA4- und SDA8-Beläge die gleiche Lebensdauer an (10 resp. 12 Jahre). Bei den Angaben zu einzelnen Belagstypen ist zudem festzustellen, dass die Kantone je nach Projekt unterschiedliche Lebensdauern einsetzen.⁴⁶

4.2.5 Fazit und Handlungsbedarf

a) Kosten der lärmarmen Beläge

Die Kosten für lärmarme Beläge weisen eine grosse Bandbreite auf. Die Kostenvorgabe (Normkosten) im WTI-Tool von 36 CHF pro m² ($\pm 30\%$) deckt nur etwa 40% der Fälle der Kostenangaben der Kantone ab. Der Mittelwert über alle gemeldeten Vorhaben liegt bei über 46 CHF / m². Dabei ist es schwierig, einen direkten Vergleich aller Kostenangaben vorzunehmen. Dies liegt daran, dass den Angaben der Kantone bzw. den einzelnen Vorhaben unterschiedliche Kostenabgrenzungen zugrunde liegen.⁴⁷

Aufgrund dieser Ausgangslage sind folgende Anpassungsmöglichkeiten zu prüfen:

- **Verzicht auf Anpassung:**

Ein Verzicht auf jegliche Anpassung ist u.E. nicht zu empfehlen, weil die Angaben der Kantone zeigen, dass nur rund 40% der Fälle in der Bandbreite gemäss aktueller Vorgabe liegen. In rund 60% der Fälle liegen die Kosten pro m² ausserhalb dieser Vorgabe bzw. Bandbreite. Davon liegen rund 17% unterhalb und 44% oberhalb der Bandbreite.

- **Anpassung auf neuen (höheren) Durchschnittswert:**

Eine Erhöhung des Ansatzes auf 46 CHF / m² (Mittelwerte aus allen gemeldeten Beispielen) würde dazu führen, dass mit einer weiterhin geltenden Bandbreite von $\pm 30\%$ rund 47% der Kostenangaben abgedeckt werden könnten. Dies sind 7% mehr als in der Ausgangslage. Der neue Wert würde aber dazu führen, dass günstigere Projekte unterhalb der neuen Bandbreite zusätzlich benachteiligt würden (neu 31% statt bisher 17%). Und nach wie vor wären rund 22% (statt bisher 44%) der Projekte mit hohen Kosten nicht repräsentiert.

- **Erweiterung mit zusätzlichen Kostenkategorien:**

Da mit einer simplen Erhöhung des angenommenen Kostensatzes (z.B. auf den Mittelwert von ca. 46 CHF / m²), die Gefahr besteht, viele günstige Projekte zu benachteiligen, drängt

⁴⁶ Die unterschiedliche Einschätzung zum gleichen Typ weist entweder auf unterschiedliche Erfahrungen bzw. einen unterschiedlichen Wissensstand in den Kantonen, unterschiedliche Voraussetzungen (z.B. Einfluss der Strasse im Einzelfall) oder auf generell unterschiedliche Einschätzungen zur Lebensdauer hin.

⁴⁷ Eine telefonische Auskunft aus dem Kanton Basel-Land weist darauf hin, dass bei der Berechnung des WTI teilweise die doppelten Investitionskosten einberechnet werden, weil man davon ausgeht, dass die Beläge im Vergleich zum Referenzbelag im gleichen Zeitraum zweimal eingesetzt werden müssen.

sich die Definition zusätzlicher Kostenkategorien auf, wie es bereits heute bei den Lärmschutzwänden gehandhabt wird. Dadurch könnten einfache von komplexeren Fällen unterschieden oder unterschiedliche Belagstypen etc. berücksichtigt werden.

Beispielsweise könnte die folgende **einfache Abstufung** analog zu den Lärmschutzwänden verwendet werden, wodurch 70% der gemeldeten Projekte abgedeckt wären:

- Einfach: 30 CHF/m²
- Mittel: 40 CHF/m²
- Komplex: 50 CHF/m²

Für diese neu eingeführten Kostenkategorien müsste präzisiert werden, wann sie einzusetzen sind und welche Kostenbestandteile sie genau enthalten. ⁴⁸

- **Differenzierung innerorts / ausserorts:**

Denkbar wäre eine Differenzierung nach Strassen innerorts und ausserorts. Die Zahl der Beobachtungen für Ausserortsstrassen ist in den Daten allerdings klein und der Zusammenhang daher nur eine begründbare Vermutung. Die Standardabweichung bei Innerortsstrassen ist zudem eher gross: Eine denkbare Abstufung wäre die folgende:

- Ausserorts: 32 CHF/m² (deckt 50% der Ausserortsstrassen im Sample ab)⁴⁹
- Innerorts: 48 CHF/m² (deckt 44% der Innerortsstrassen im Sample ab)⁵⁰

- **Vollständige Flexibilisierung:**

Statt Normkosten dürfen nur noch projektspezifische Grobkostenschätzungen eingesetzt werden.

Wie bei den Lärmschutzwänden ist aus volkswirtschaftlicher Sicht der Ansatz der vollständigen Flexibilisierung zu favorisieren. Dieser Argumentation lässt sich ein «Gleichbehandlungsgebot» entgegenhalten: Lärmbelastete Personen sollen wegen eines allenfalls kostenintensiven Standorts im Vergleich zu ebenso lärmbelasteten Personen an einem günstigen Standort nicht benachteiligt werden. Zudem bedeutet eine projektspezifische Grobkostenschätzung auch mehr Aufwand als bei Verwendung von Standardannahmen. Die Einführung zusätzlicher Kostenkategorien zusammen mit einer präziseren Abgrenzung der Kategorien würde als «Mittelweg» diesen Argumenten Rechnung tragen.

Losgelöst davon, ob nun eine vollständige Flexibilisierung oder eine zusätzliche Abstufung der Kostenkategorien eingeführt wird, muss gleichzeitig auch festgelegt werden, welcher Kostensatz künftig für den Referenzbelag zu berücksichtigen ist. Dies ist wichtig, weil letztlich die Kostendifferenz zwischen lärmarmem Belag und Referenzbelag für die Berechnung des WTI

⁴⁸ Denkbar wären folgende Hinweise:

Hinweise auf einfache Ausführung: Ausserorts, 8mm Korngrösse, nur Deckschicht, Arbeiten am Tag durchführbar

Hinweise auf mittlere Ausführung: Innerorts, 4 oder 8mm Korngrösse, nur Deckschicht, Arbeiten teilweise in der Nacht

Hinweise auf komplexe Ausführung: Innerorts, 4mm Korngrösse, Deck- und Binderschicht, Arbeiten in der Nacht

⁴⁹ Der tatsächliche Mittelwert von 30 CHF/m² würde nur 20% der Ausserortsstrassen im Sample abdecken. Insgesamt sind im Sample nur 10 Kostenangaben zu Ausserortsstrassen enthalten, weshalb der Anteil bereits bei einer kleinen Veränderung der absoluten Zahl stark reagiert. Bei einem Mittelwert von 32 CHF / m² sind 5 von 10 Kostensätzen abgedeckt, bei einem Wert von 30 CHF / m² nur noch 2 von 10.

⁵⁰ Es handelt sich um den Mittelwert der Kostenangaben für Strassen innerorts.

massgebend ist. Würden beispielsweise bei lärmarmen Belägen die Kosten künftig immer zwingend projektspezifisch eingesetzt, so muss auch der Kostensatz für den Referenzbelag flexibilisiert werden. Dieser liegt aktuell bei 30 CHF / m². Es ist denkbar, dass die hohen Kosten für lärmarme Beläge im Einzelfall auch durch hohe Kosten für den Referenzbelag («Ohnehinkosten» eines Belagsersatzes) erklärbar sind. Würde beispielsweise der Kostensatz für den Referenzbelag tatsächlich 40 CHF / m² statt 30 CHF / m² betragen, wäre die für die Berechnung des WTI massgebende Differenz von 6 CHF / m² weiterhin gewahrt.

b) Betriebs- und Unterhaltskosten

Zu Betriebs- und Unterhaltskosten der lärmarmen Beläge liegen aus den Kantonen keine Angaben vor. Wir empfehlen deshalb, weiterhin die bisherigen Werte einzusetzen.

c) Lebensdauer

Im WTI-Tool wird als Standard eine Lebensdauer von 15 Jahren vorgegeben. Die Bandbreite der Lebensdauern gemäss Umfrage liegt je nach eingesetztem Typ / Material bei 8-20 Jahren, der Mittelwert bei 13.2 Jahren. Eine pauschale Reduktion der Lebensdauer ist allerdings nicht empfehlenswert, da es auch Beläge mit einer Lebensdauer von 15 oder 20 Jahren gibt. Stattdessen sollte hier eine Flexibilisierung ermöglicht werden.

4.3 Weitere Erkenntnisse und Rückmeldungen

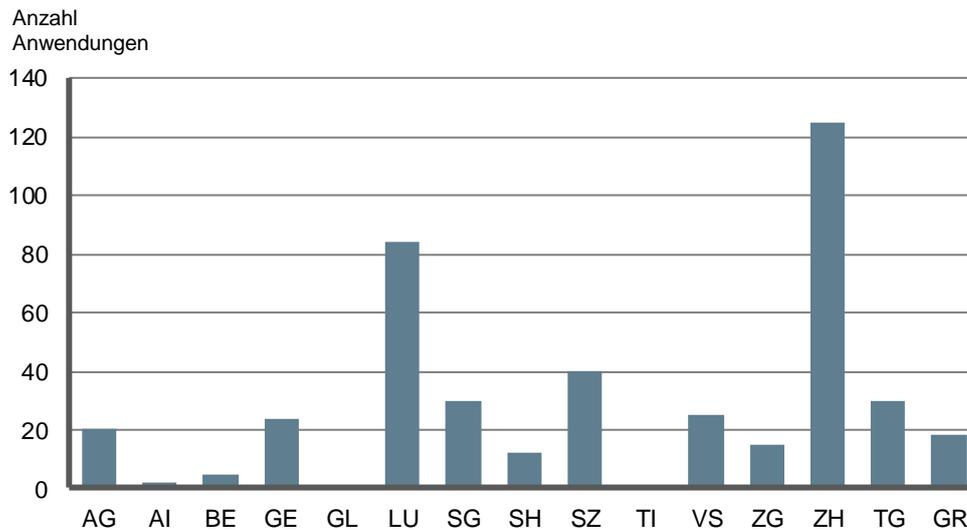
Neben den Kostenangaben zu Lärmschutzmassnahmen wurden weitere Fragen zum WTI und zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen gestellt (Kurzfassung der Fragen, detaillierte Fassung befindet sich im Anhang):

- Wie häufig wurde der WTI in den letzten 5 Jahren berechnet?
- Wie wird mit einer Erhöhung einer Lärmschutzwand vor Ablauf der Lebensdauer umgegangen?
- Wurden in den letzten 5 Jahren Kombinationen von Lärmschutzwand und lärmarmem Belag geprüft oder realisiert?

Daneben wurde den Kantonen die Möglichkeit geboten, generelle Bemerkungen / Inputs zur Anwendung des WTI anzubringen.

4.3.1 Berechnung des WTI in den letzten 5 Jahren

Insgesamt wurde in den 17 Kantonen der WTI in den vergangenen 5 Jahren in mindestens 430 Fällen angewendet. Die Zahl dürfte noch höher ausfallen, wenn auch verworfene Varianten einbezogen werden.

Abbildung 4-13: Anzahl WTI-Berechnungen in den letzten 5 Jahren (teilweise geschätzt)

4.3.2 Umgang mit Ersatz vor Ablauf der Lebensdauer

In der heute verwendeten WTI-Methodik⁵¹ bzw. im heutigen WTI-Tool⁵² werden die Kosten und Nutzen als Jahreskosten berechnet. Auf der Nutzenseite wird der jährlich anfallende Mietzinsverlust direkt über eine Jahresmiete berechnet. Die Jahreskosten werden aus den einmaligen Investitionskosten und den jährlichen Betriebs- und Unterhaltskosten als Annuität berechnet. Es handelt sich also um eine statische Berechnung ohne jährliche Betrachtung der Kosten- und Nutzenströme.

Die WTI-Methodik bzw. das WTI-Tool ist somit aufgrund dieser Konzeption in erster Linie darauf angelegt, einzelne Projekte zur Realisierung (neuer) baulicher Lärmschutzmassnahmen in Bezug auf ihre wirtschaftliche Verhältnismässigkeit zu beurteilen. Das WTI-Tool kann auch eingesetzt werden, um eine Wahl zwischen Projektvarianten zu treffen, deren Realisierung für den gleichen Zeitpunkt vorgesehen ist.

Das WTI-Tool ist in der aktuellen Ausgestaltung aber nicht in der Lage, Lärmschutzmassnahmen zu vergleichen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten realisiert werden oder die den vorzeitigen Ersatz einer bestehenden Lärmschutzbaute vorsehen.

Vor diesem Hintergrund wurden die Kantone zu ihrem Umgang mit dem Ersatz von Lärmschutzmassnahmen vor dem Ablauf der erwarteten Lebensdauer befragt.

⁵¹ Vgl. Beschreibung in Kapitel 2.1.

⁵² Berechnungsmodul zur UV- 0637 Anhang 4. Version 2.1.

Die Antworten der Kantone (siehe Anhang A) zeigen, dass sie mit dem vorzeitigen Ersatz bestehender Lärmschutzmassnahmen bisher noch wenig konfrontiert worden sind. Insgesamt acht der 17 Kantone haben sich noch nie mit einem solchen Fall auseinandergesetzt.

Die wenigen Äusserungen zum angewendeten oder in Aussicht gestellten Vorgehen bei der Beurteilung solcher vorzeitigen Ersatzlösungen sind dabei uneinheitlich:

- Ein Kanton stellt den Auslöser eines vorzeitigen Ersatzes in den Vordergrund (z.B. die wesentliche Änderung einer Strasse mit neuem Verkehrsregime oder die Verlegung einer Strasse). Demselben Kanton ist dabei die «Besitzstandsgarantie» bestehender Lärmschutzwände wichtig.
- Ein Kanton würde zur Kostenberechnung den Restwert der bestehenden Wand zu den Neubaukosten der höheren Wand addieren.
- Ein anderer Kanton berücksichtigt den Restwert einer bestehenden Wand explizit nicht.
- Ein Kanton führt Lärmschutzmassnahmen nur im Rahmen des ordentlichen Unterhalts durch. Der Restwert wäre zu diesem Zeitpunkt per Annahme Null.

4.3.3 Kombination von Lärmschutzwand und lärmarmen Belägen

Alle angefragten Kantone geben in ihren Antworten an, dass sie die Kombination eines lärmarmen Belags und einer Lärmschutzwand an der gleichen Stelle bisher nicht geprüft oder realisiert haben. In drei der antwortenden 16 Kantone wurde die Antwort aber im Kommentar relativiert (vgl. hierzu auch die Zusammenstellung in Anhang A):

- Ein Kanton plant in der Regel nur noch entweder lärmarme Beläge oder Lärmschutzwände. Bevorzugt werden lärmarme Beläge realisiert. Diese werden vermehrt auch geprüft, wenn eine Lärmschutzwand zur Diskussion steht. Grund dafür sind die oft negativen Rückmeldungen aus der Bevölkerung zu Lärmschutzwänden.
- Ein anderer Kanton hat lediglich die Kombination von lärmarmen Belägen und einer Temporeduktion gemeinsam geprüft.
- Ein dritter Kanton hat bis vor kurzem jeweils auch Kombinationen geprüft, diese nun aber verworfen.

4.3.4 Generelle Rückmeldungen zum WTI

In der Umfrage wurde den Kantonen die Gelegenheit gegeben, generelle Bemerkungen zur Anwendung oder zur Methodik des WTI zu machen. Die eingegangenen Rückmeldungen sind in Anhang A zusammengestellt. Aus den Angaben der Kantone lassen sich folgende Hauptschlüsse ziehen:

- Insgesamt wird der WTI und das dazugehörige Berechnungstool als nützliches Hilfsmittel betrachtet, auch wenn es Verbesserungsmöglichkeiten gibt.
- Insbesondere für die Abschätzung der Lebensdauer sowie der Betriebs- und Unterhaltskosten fehlt in vielen Kantonen noch die Erfahrung.

- Der WTI wird durch einige Kantone oft, durch andere Kantone gar nicht berechnet. Für lärmarme Beläge wird teilweise der WTI nicht berechnet, weil generell von einer guten Effizienz ausgegangen wird. In einem Kanton werden lärmarme Beläge bei Strassensanierungen wohl deshalb auch standardmässig eingesetzt, wenn der IGW-Grenzwert überschritten ist.
- Einige Kantone wünschen die Ausweitung der Anwendungsbereiche auf die Prüfung von Geschwindigkeitsreduktionen.

5 Lärmschutzwände: Auswirkungen der Änderungen

In diesem und im folgenden Kapitel wird untersucht, welchen Einfluss die bisher vorgestellten, nutzen- und kostenseitigen Änderungsvorschläge auf die Ergebnisse des WTI hätten.

Im vorliegenden Kapitel geht es um die Lärmschutzwände bzw. um die Frage, welche Projekte mit den vorgeschlagenen Änderungen zukünftig realisiert würden und welche nicht (mehr). Die Darstellung dieser Analyse erfolgt in folgenden Schritten:

- Abschnitt 5.1 zeigt den gewählten **Untersuchungsansatz** zur Ermittlung der Auswirkungen von Methodikänderungen und die dazu verwendeten **Fallbeispiele** mit Lärmschutzwänden. Derselbe Untersuchungsansatz wird auch für die lärmarmen Beläge in Kapitel 6 verwendet. Die Falleispiele mit lärmarmen Belägen sind in Abschnitt 6.1 beschrieben.
- In Abschnitt 5.2 wird ausgewiesen, wie die **Effektivität** der untersuchten Lärmschutzwände in den Fallbeispielen ausfällt. Dieses – von den vorgeschlagenen Veränderungen – nicht betroffene Ergebnis wird als Input in die Berechnung des WTI benötigt.
- In Abschnitt 5.3 wird dargestellt, welche Auswirkungen sich durch die vorgeschlagenen **Änderungen auf der Nutzenseite** auf das Ergebnis des WTI ergeben bzw. ob und in welche Richtung sich die Investitionsentscheide verändern würden. Hierzu ist es unter anderem erforderlich, die Berechnungen zur Effizienz (Nutzen-Kosten-Verhältnis) sowohl für die bisherigen Vorgaben wie auch für die vorgeschlagenen Änderungen für jede der 70 Fallbeispiele separat durchzuführen und die Ergebnisse mit der Effektivität zu verknüpfen, um daraus den WTI zu ermitteln.
- In Abschnitt 5.4 werden die Veränderung der Investitionsentscheide untersucht, welche aus der Variation der Parameter auf der **Kostenseite** entstehen, so zum Beispiel die Anpassungen im Kostensatz pro m² Lärmschutzwand, in der angenommenen Lebensdauer oder im angenommenen Kapitalzinssatz.
- In Abschnitt 5.5 werden die **Erkenntnisse** aus der Analyse zusammengefasst.

5.1 Untersuchungsansatz und Fallbeispiele

5.1.1 Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI

Um die Auswirkungen der Methodikänderungen auf die Beurteilung von Lärmschutzwänden zu analysieren, wurde für 70 Fallbeispiele jeweils der WTI mit der bisherigen Methodik sowie mit den neuen Annahmen berechnet.

Die sich dabei abzeichnenden Änderungen im Investitionsentscheid dienen dazu, das Ausmass der Veränderung zu beschreiben. Als Grundlage hierzu verwenden wir jeweils das **WTI-Ergebnis** als massgebendes Entscheidungskriterium. Denn mit Blick auf den gesetzlichen Auftrag zum Schutz der Bevölkerung vor übermässiger Lärmbelastung hat man sich entschieden, bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit nebst der **Effizienz** (Nutzen-Kosten-Verhältnis)

auch die **Effektivität** zu berücksichtigen. Dies mit der Grundidee, dass bei einer hohen Erreichung des Lärmschutzziels auch Massnahmen realisiert werden sollen, die bei einer rein wirtschaftlichen Betrachtung nicht realisiert würden.

Für die Umsetzung dieser Grundidee wurde wie in Kapitel 2.1 erläutert das Effektivitätsmass eingeführt und mit dem Effizienzmass zum WTI verknüpft. Der Investitionsentscheid aufgrund des WTI kann anders ausfallen, als aufgrund der Effizienz allein.

Exkurs: Effizienz als Entscheidungskriterium

Von Interesse kann im Rahmen dieser Untersuchung auch die Frage sein, wie sich der Investitionsentscheid aufgrund der besprochenen Methodikanpassungen verändern würde, wenn anstelle des WTI nur die Effizienz berücksichtigt würde. In diesem Fall würden nur Lärmschutzwände realisiert, wenn sie aus rein ökonomischer Sicht wirtschaftlich wären, also ihr Nutzen grösser ausfällt als die dafür erforderlichen Kosten, bzw. wenn sie ein Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser/gleich 1.0 aufweisen.

Auf das Entscheidungskriterium der Effizienz wird im Rahmen des Berichts innerhalb von Exkursen eingegangen.

5.1.2 Untersuchung anhand von Fallbeispielen

Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurde beschlossen, für die Analyse der Auswirkungen ein modellhaftes Raster mit hypothetischen Fällen aufzubauen und zu verwenden.⁵³ Für die hypothetischen Fallbeispiele wurden folgende Eigenschaften variiert:

- **Massnahme:** Lärmschutzwand (Höhe der Lärmschutzwand) oder Belag (Strassenbreite)
- **Besiedlung:** Locker / Nicht-dichte / dichte Besiedlung / Zentrum (mit jeweils unterschiedlicher Ausnutzungsziffer, Anzahl Etagen und Häusertyp)
- **Lärmquellen:** Kantonsstrasse, Nationalstrasse (mit tiefem oder hohem Verkehrsaufkommen), Eisenbahn

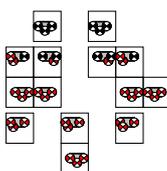
⁵³ Ursprünglich war vorgesehen, die Anpassungen in der Berechnung der Nutzen von Lärmschutzmassnahmen bzw. ihre Auswirkungen auf den WTI anhand konkreter Fallbeispiele aufzuzeigen. Dazu sollten die Beispiele die Verkehrsträger Strasse (Kantons- bzw. Nationalstrasse) und Schiene abdecken sowie nach der Siedlungsdichte (dicht, nicht dicht, Zentrum) wie auch der Hanglage (eben, aufwärts, abwärts) differenziert sein. Bei der Suche nach realen Fallbeispielen hat sich gezeigt, dass es praktisch unmöglich ist, all diese Anforderungen abzudecken und am Schluss noch Fallbeispiele zu haben, die als repräsentativ bezeichnet werden können. Zwar lassen sich einzelne Fallbeispiele finden, welche die eine oder andere Anforderung abdecken, aber sie stellen dann meist «Sonderfälle» dar, die sich nicht für eine generelle Überprüfung der empfohlenen Berechnungsanpassungen eignen. Die realen Fallbeispiele hätten dazu aufwändig überarbeitet werden müssen, damit sie einen einigermaßen repräsentativen Charakter aufweisen würden.

- **Empfindlichkeitsstufe:** ES II oder III⁵⁴
- **Topografie:** Ebene / Hanglage aufwärts / Hanglage abwärts

Zur Abbildung der Besiedlung wurde von vier Grundrastern bei der Bebauungsdichte ausgegangen. Die folgende Abbildung 5-1 enthält die Situation in einem «locker» bebauten und in einem «nicht-dicht» bebauten Gebiet. In der unteren Abbildung ist die Situation einer «dichten» Besiedlung und die «Zentrumslage» abgebildet.

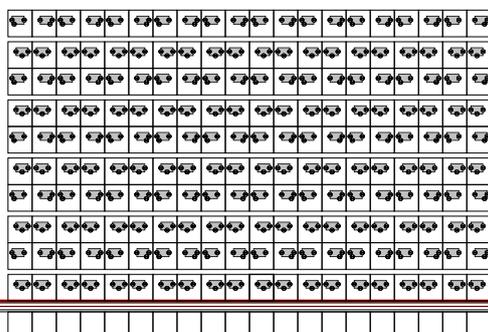
Abbildung 5-1: Grundraster der Fallbeispiele: Lockere und nicht-dichte Besiedlung

Locker (Einfamilienhäuser, keine Ausnützungsziffer, 2 Etagen)



Die notwendige Bautiefe zur Abdeckung aller Schwellenwerte⁵⁵ beträgt im Beispiel 5 Häuserreihen. Bei der lockeren Besiedlung ist allerdings nicht von zusätzlichen bestehenden Häuserreihen auszugehen.

Nicht-dicht (Einfamilienhäuser mit niedriger Ausnützungsziffer, 2 Etagen)

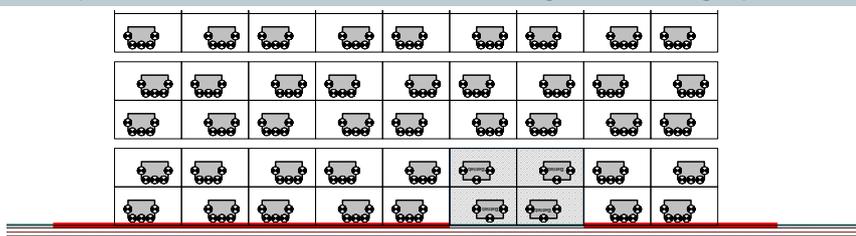


Die notwendige Bautiefe zur Abdeckung aller Schwellenwerte beträgt im Beispiel 10 Häuserreihen. Die Häuserreihen sind von anderen Strassen durchschnitten (nicht als Lärmquelle berücksichtigt).

⁵⁴ Die Empfindlichkeitsstufe I weist das höchste, Empfindlichkeitsstufe IV das niedrigste Lärmschutzbedürfnis auf. In der Lärmschutzverordnung gelten abhängig von der Empfindlichkeitsstufe unterschiedliche Grenzwerte. Diese unterschiedlichen Grenzwerte sind allerdings für die Berechnung des WTI nach neuer Methodik bzw. mit den vorgeschlagenen Anpassungen nur noch für die Ermittlung des Effektivitätsmasses von Bedeutung, auf das Effizienzmass wirken sie sich nicht mehr aus.

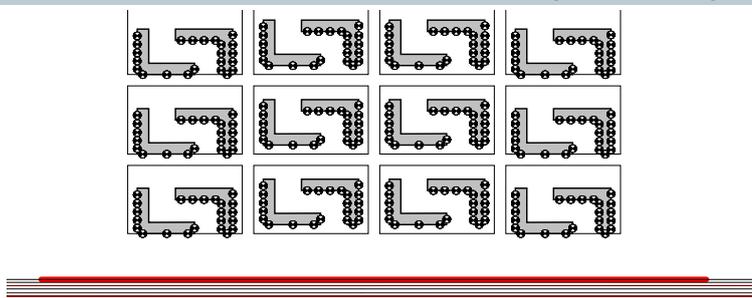
⁵⁵ Es handelt sich um die in der Abbildung 3-2 (S. 19) und Abbildung 3-3 (S. 21) enthaltenen Schwellenwerte, ab denen eine Wirkung der Lärmbelastung auf den Mietzins bzw. die Gesundheitsschäden gemäss aktuellem Kenntnisstand in der nationalen und internationalen Literatur zu erwarten ist. Diese Schwellenwerte sind nicht zu verwechseln mit den vorangehend erwähnten Grenzwerten in den einzelnen Empfindlichkeitsstufen nach LSV.

Abbildung 5-2: Grundraster der Fallbeispiele: Dichte Besiedlung und Zentrumslage

Dicht (Mehrfamilienhäuser, mittlere Ausnützungsziffer, 4 Etagen)

Blau schraffiert: Geschäftsliegenschaften.

Die notwendige Bautiefe zur Abdeckung aller Schwellenwerte beträgt im Beispiel 5 Häuserreihen.

Zentrum (Mehrfamilienhäuser, hohe Ausnützungsziffer, 7 Etagen)

Die notwendige Bautiefe zur Abdeckung aller Schwellenwerte beträgt im Beispiel 3 Häuserreihen.

Die Variation der übrigen Eigenschaften wurde ausgehend von diesen vier Grundtypen vorgenommen indem z.B. für Kantons- und Nationalstrassen von unterschiedlichen Verkehrsmengen und Fahrgeschwindigkeiten oder Strassenbreiten ausgegangen wurde oder bei der Wirkung der Lärmdämpfung durch eine voranliegende Häuserreihe die Topographie (Ebene, Hangneigung) berücksichtigt wurde.

Für die Untersuchung wurden für die Fallbeispiele die Lärmimmissionen mit und ohne Lärmschutzmassnahmen berechnet. Hierzu wurde die Berechnungssoftware CadnaA eingesetzt um die für die WTI-Berechnung notwendigen Grundlagen bereitzustellen. Konkret wurden für jedes Gebäude in den Fallbeispielen die Lärmbelastung in dB(A) Nacht- und Taglärm ausgewiesen. Bei allen berechneten Gebäuden wurden an der Strassenfassade und den zwei Seitenfassaden geschossweise Empfangspunkte gesetzt.⁵⁶ Andere Lärmquellen wie andere Verkehrsträger oder parallel verlaufende Kantons-, Gemeinde- und Quartierstrassen wurden nicht modelliert.

Der Perimeter für die Lärmberechnungen wurde für die Topografie «Hang aufwärts» so gewählt, dass die massgebenden Schwellenwerte für verkehrslärmbedingte Gesundheitskosten-

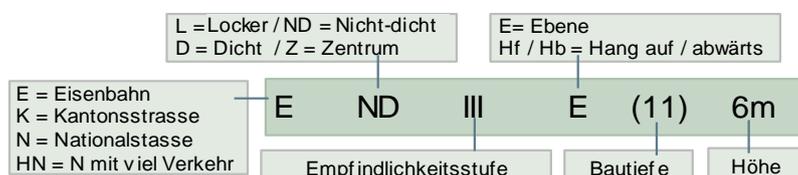
⁵⁶ Weitere technische Details zur Lärmberechnung bei den Fallbeispielen sind in Anhang B dokumentiert.

oder Mietzinsverluste ohne Lärmschutzmassnahmen nicht überschritten werden. Für die Topografien «Ebene» und «Hang abwärts» wurde jeweils die gleiche Bautiefe modelliert. So wird sichergestellt, dass keine Nutzen vernachlässigt werden. Der Perimeter lässt sich aus der Simulation in der Anzahl der berücksichtigten Häuserreihen bzw. der Bautiefe ausdrücken.

5.1.3 Untersuchte Fallbeispiele mit Lärmschutzwand

Für die Analyse der Auswirkungen auf die Beurteilung von Lärmschutzwänden werden wie erwähnt 70 Fallbeispiele berechnet. Für eine schnelle Identifikation der Parameter wird das folgende Kennzeichnungsschema verwendet:

Abbildung 5-3: Kennzeichnungsschema für die Fallbeispiele



Die Lärmquelle bestimmt über den angenommenen Verkehr auch die Ausgangsbelastung mit Lärm (Lärmbelastung ohne Massnahme). Bei den Nationalstrassen unterscheiden wir dabei zwischen Nationalstrassen (N, DTV 55'000 Fahrzeuge pro Tag) und Nationalstrassen mit hohem Verkehrsaufkommen (HN, DTV 100'000 Fahrzeuge pro Tag). Eine tabellarische Zusammenstellung der Eigenschaften der Fallbeispiele mit Lärmschutzwand ist in Anhang C, Kapitel 11 zu finden.

Die Fallbeispiele mit Lärmschutzwänden lassen sich wie folgt nach ihrer Häufigkeit, nach der mittleren erfassten Bautiefe sowie nach der mittleren Höhe der Lärmschutzwand zusammenfassen:

- Eine «lockere» Besiedlung wurde nur für die Nationalstrassen geprüft. In der Zentrumslage wurde pro Lärmquelle je ein Fallbeispiel berechnet.
- Die Höhe der Lärmschutzwand für die Fallbeispiele wurde möglichst «realistisch» festgelegt, um dem Verkehrsaufkommen gerecht zu werden. Auf Kantonsstrassen werden in der Praxis insbesondere 2m oder 4m hohe Lärmschutzwände realisiert. Für die Lärmquelle Eisenbahn wurden nur Lärmschutzwände mit Höhe 2m geprüft. Für die Nationalstrasse wurden Lärmschutzwände mit 4 und 6m Höhe berücksichtigt.
- Der untere Teil der Abbildung zeigt auf, bis zu welcher Bautiefe in den Fallbeispielen die Lärmimmissionen jeweils berechnet werden mussten, um sicher gehen zu können, dass sämtliche Nutzen von Lärmschutzwänden berücksichtigt werden bzw. in den weiter hinten liegenden Baureihen die Lärmimmissionen unter den Schwellenwerten liegen und daher keine lärmbedingten Mietzinsausfälle und lärmbedingten Gesundheitsschäden mehr zu erwarten sind. Aus der Zusammenstellung lässt sich folgende Erkenntnis gewinnen: Je höher

das Verkehrsaufkommen und je dichter die Besiedlung, desto mehr Baureihen mussten bei den Lärmberechnungen in der Regel berücksichtigt werden. Bei einer Bebauung mit vielen Etagen (wie in der Zentrumslage) wirken die Häuser als zusätzlichen Lärmschutz, was dazu führt, dass die Berechnungen auf weniger Baureihen beschränkt werden konnten.

Abbildung 5-4: Zusammenfassung der Fallbeispiele mit Lärmschutzwand

Anzahl Fallbeispiele	Locker	Nicht-Dicht	Dicht	Zentrum	ES II	ES III	Ebene	Hang abwärts	Hang aufwärts	2m	4m	6m	Alle
Kantonsstrasse	-	6	8	1	7	8	7	4	4	13	2	-	15
Eisenbahn	-	6	6	1	6	7	5	4	4	13	-	-	13
Nationalstrasse (55'000)	6	6	10	1	11	12	9	6	8	2	19	2	23
Nationalstrasse (110'000)	6	6	6	1	9	10	7	6	6	1	7	11	19
Alle	12	24	30	4	33	37	28	20	22	29	28	13	70

Mittlere modellierte Bautiefe	Locker	Nicht-Dicht	Dicht	Zentrum	ES II	ES III	Ebene	Hang abwärts	Hang aufwärts	2m	4m	6m	Alle
Kantonsstrasse		8.3	5.8	3.0	6.9	6.4	6.7	5.0	8.0	6.7	6.0		6.6
Eisenbahn		11.0	10.0	3.0	10.5	9.4	9.0	10.5	10.5	9.9			9.9
Nationalstrasse (55'000)	5.0	19.0	20.0	6.0	15.6	14.8	14.9	14.7	16.0	20.0	14.2	20.0	15.2
Nationalstrasse (110'000)	5.0	22.3	28.0	9.0	18.4	17.5	17.6	17.3	19.0	5.0	18.3	18.9	17.9
Alle	5.0	15.2	15.8	5.3	13.6	12.7	12.5	12.7	14.4	9.0	14.6	19.1	13.1

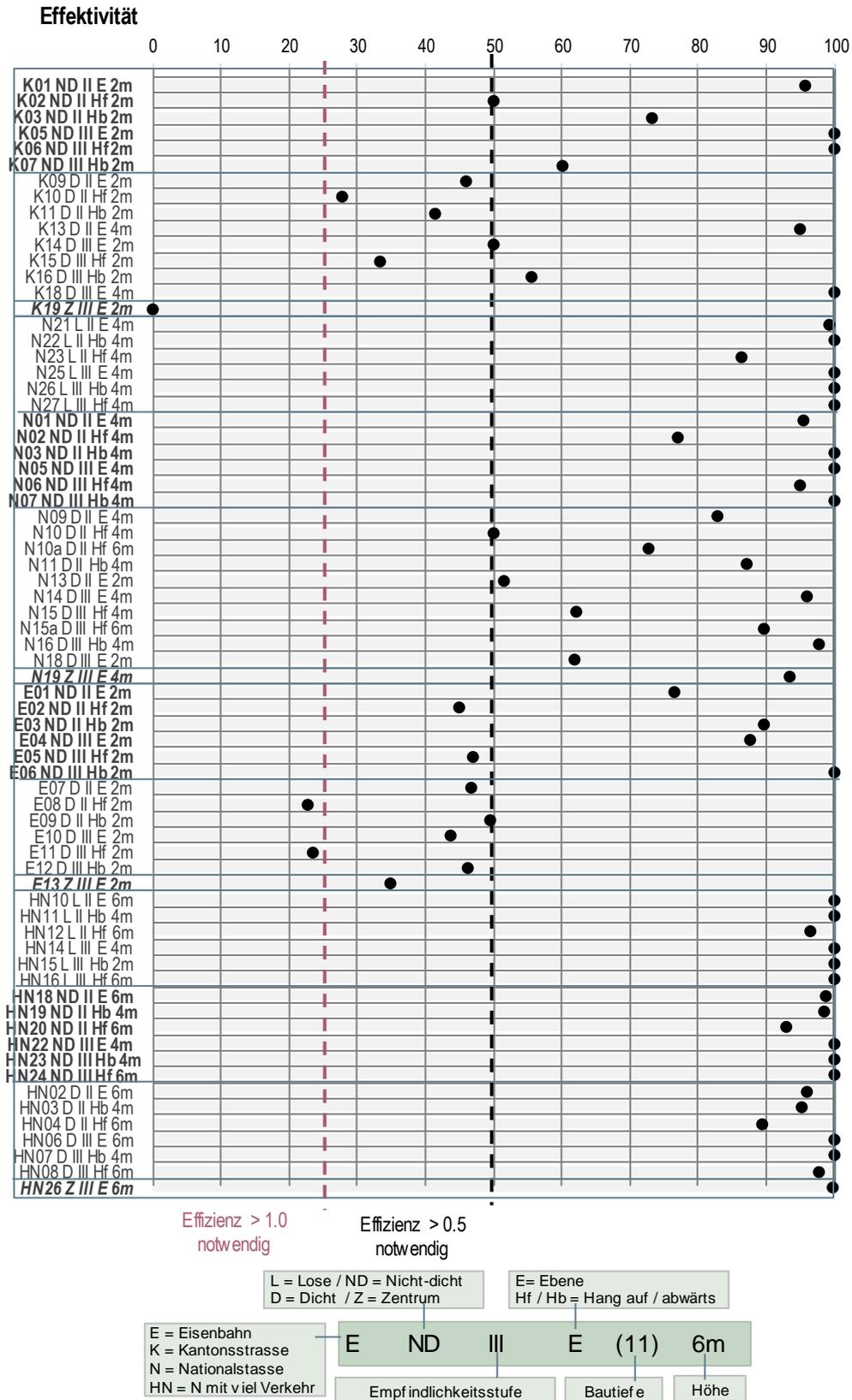
5.2 Effektivität der Fallbeispiele

Die folgende Abbildung 5-5 zeigt die Effektivität der untersuchten Lärmschutzwände in den oben beschriebenen Fallbeispielen (schwarze Rauten). Diese Werte werden – wie bereits erwähnt – von den vorgeschlagenen Änderungen **nicht** tangiert und fliessen somit unverändert in die Berechnung des WTI in den weiteren Abschnitten ein.

Die Abbildung ist wie folgt zu lesen:

- Die **vertikale schwarze Linie** zeigt eine Effektivität von 50 (%). Rechts dieser Linie sinkt die Lärmbelastung durch die Massnahme bei mehr als der Hälfte der im Perimeter erfassten Bruttogeschossflächen unter die von der LSV vorgegebenen Grenzwerte. Fallbeispiele, die links der Linie liegen und eine Effektivität von unter 50 (%) [aber über 25 (%), rote Linie] haben, müssten eine Effizienz von mehr als 0.5 aufweisen, damit ein WTI von über 1.0 resultiert (genügend).
- Die rote **gestrichelte Linie** zeigt eine Effektivität von 25 (%). Fallbeispiele mit einer Effektivität von unter 25 müssten mindestens eine Effizienz grösser als 1 aufweisen, damit der WTI über dem Wert von 1.0 liegt.

Abbildung 5-5: Lärmschutzwände: Effektivität der Fallbeispiele



Die Effektivität von Fallbeispiel K19 ist 0%, weil die Kantonsstrasse mit einem DTV von 10'000 Fz/Tag den Immissionsgrenzwert der Empfindlichkeitsstufe III (Tag) am Trottoirrand nur um 2 dB(A) und nachts nur um 4 dB(A) überschreitet. Dies führt dazu, dass Gebäude die direkt am Trottoirrand stehen eine IGW-Überschreitung aufweisen, jedoch nicht mit einer Lärmschutzwand geschützt werden können. Bei den von der Strasse zurückgesetzten Gebäuden liegt der Beurteilungspegel bereits ohne Lärmschutzwand genau auf oder unter dem Immissionsgrenzwert. Damit resultiert gesamthaft eine Effektivität von 0.⁵⁷

5.3 Auswirkung der neuen Annahmen auf der Nutzenseite

Durch Anpassung der Mietzinsnutzen sowie Hinzunahme der Gesundheitsnutzen ergeben sich Änderungen beim Investitionsentscheid. Diese werden nachfolgend für das Entscheidungskriterium WTI untersucht.

Exkurs: Annahmen auf der Kostenseite

Die Annahmen auf der Kostenseite wurden für die Berechnungen auf der Nutzenseite konstant gehalten (*ceteris paribus*). Auf der **Kostenseite** wurde für die Fallbeispiele mit einer Lärmschutzwand von «mittlerer Ausführung» ausgegangen. Wir sprechen von einer «**mittleren Ausführung**», weil es sich bei den hinterlegten Investitionskosten um den Mittelwert zwischen der im WTI-Berechnungstool vorgegebenen «einfachen Ausführung» (900 CHF/m²) und der «komplexen Ausführung» (1'700 CHF/m²) handelt.

Konkret werden folgende Annahmen zur Lärmschutzwand den WTI-Berechnungen hinterlegt:

- Investitionskosten von 1'300 CHF/m²⁵⁸
- 3.0% Kapitalzins
- 30 Jahre Lebensdauer
- 1.0% Betrieb und Unterhalt (Anteil an den Investitionskosten)

5.3.1 Einfluss der Bautiefe

Bei der Untersuchung der vorgeschlagenen Änderungen zur Ermittlung des Nutzens von Lärmschutzwänden wurde untersucht, inwiefern der Perimeter (d.h. die vorhandene Bautiefe) einen Einfluss auf die Investitionsentscheide in der alten und neuen Methodik hat.

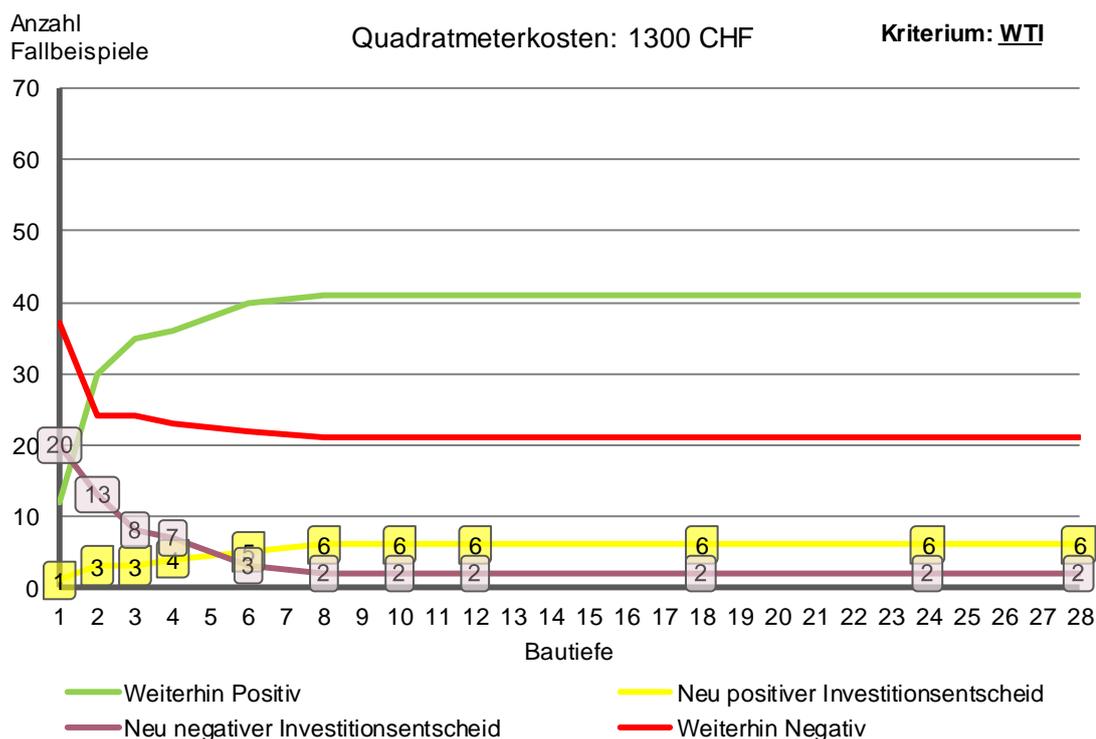
Dazu wird in der nachfolgende Abbildung 5-6 dargestellt, wie sich beim Bau einer Lärmschutzwand mit «mittlerer Ausführung» die vorgeschlagenen Änderungen je nach Bautiefe auswirken. Aus der Abbildung zeigt sich der Einfluss der Bautiefe deutlich. In der Darstellung ist zu erkennen, dass beispielsweise bei einer Bautiefe von 2 Reihen in 13 Fallbeispielen (braune

⁵⁷ Das Beispiel würde plausibler bei einem DTV von 20'000 Fz/Tag.

⁵⁸ Wir verwenden den Durchschnittswert aus den Kosten einer «einfachen Ausführung» (900 CHF / m²) und der «komplexen Ausführung» (1'700 CHF / m²), wie sie im aktuellen Berechnungstool zum WTI hinterlegt sind. In Abschnitt 5.4.1 werden wir auch die Ergebnisse bei einem Kostensatz von 900 bzw. 1'700 CHF / m² ausweisen.

Linie) die Lärmschutzwand nicht mehr realisiert würde, es in 3 Beispielen (gelbe Linie) neu zu einem positiven Entscheid käme und sich in der ganz grossen Mehrheit (54 Fälle) ein gleicher Investitionsentscheid (30 positiv, grüne Linie / 24 negativ, rote Linie) wie bisher bzw. ohne die vorgeschlagenen Änderungen ergeben würde.

Abbildung 5-6: Lärmschutzwände: Veränderung des Investitionsentscheids aufgrund des WTI, abhängig von der gewählten maximalen Bautiefe



Übrige Annahmen: Mittlere Ausführung, 3% Kapitalzinssatz

Insgesamt zeigt sich, dass mit Zunahme der Baureihen die Zahl von neu negativen Investitionsentscheiden kontinuierlich abnimmt.

5.3.2 Einfluss der übrigen Eigenschaften der Fallbeispiele

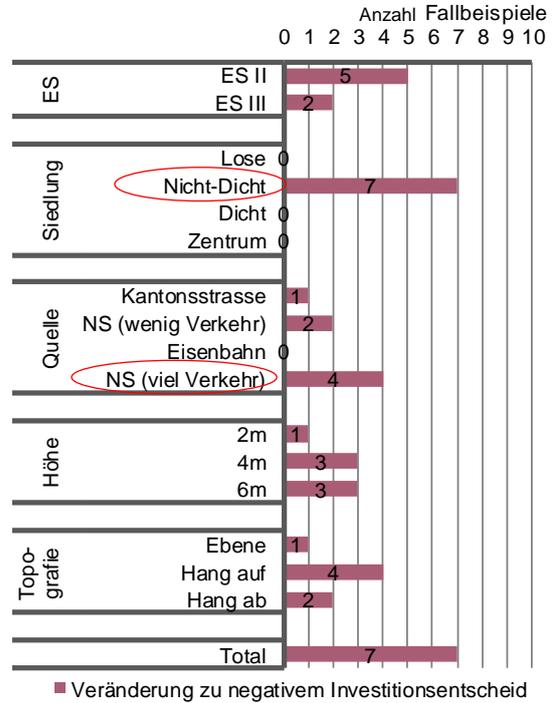
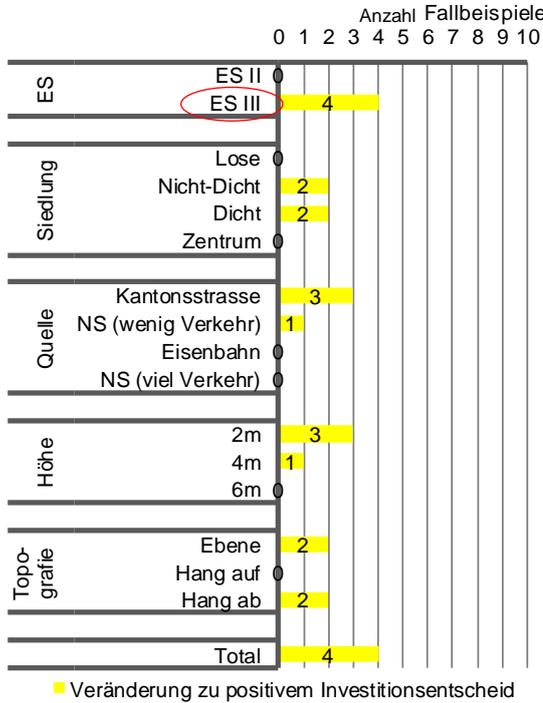
Die nachfolgende Abbildung zeigt, bei welchen Eigenschaften der Fallbeispiele die vorgeschlagenen Änderungen zu einer positiven (gelbe Balken) oder negativen (rote Balken) Veränderung des Investitionsentscheides führen und in wie vielen Fallbeispielen es zu diesem Wechsel kommt (Zahlenwerte in den Balken).

Beispielsweise ist im oberen Teil der Abbildung (also bei 4 Baureihen) zu erkennen, dass alle positiven Veränderungen (Total 4) in der Empfindlichkeitsstufe III stattfinden und 5 der insgesamt 7 negativen Veränderungen in der Empfindlichkeitsstufe II zu verzeichnen sind. Zudem entfallen alle negativen Veränderungen auf den Siedlungstyp «nicht-dicht».

Abbildung 5-7: Lärmschutzwände: Übersicht zu den Eigenschaften der veränderten Investitionsentscheide bei mittlerer Ausführung

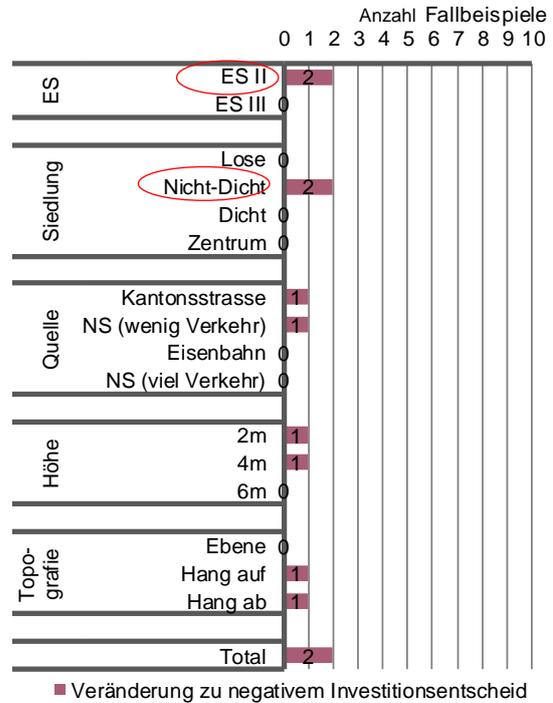
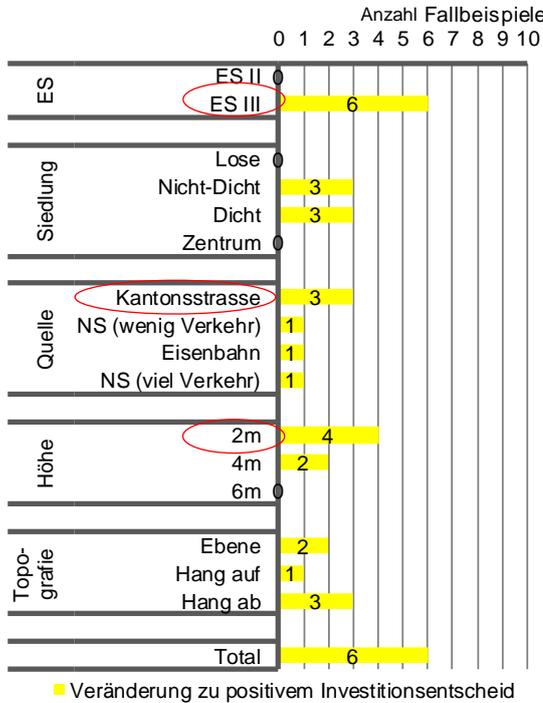
Quadratmeterkosten: 1300 CHF / 4 Baureihen

Kriterium: WTI



Quadratmeterkosten: 1300 CHF / Volle Bautiefe

Kriterium: WTI

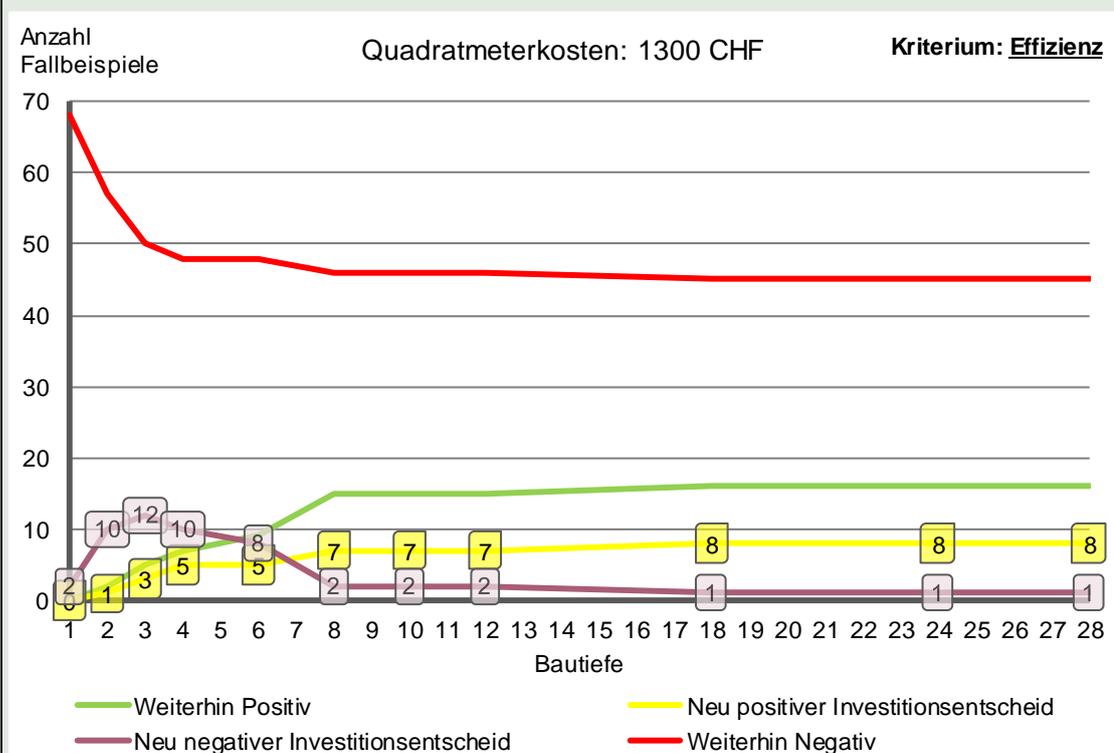


Der untere Teil der Abbildung 5-7 zeigt, dass bei voller Bautiefe noch mehr positive Veränderungen in ES III resultieren und es nur noch zu zwei negativen Veränderungen in der ES II in nicht-dichter Besiedlung kommt.

Exkurs: Effizienz als Entscheidkriterium

Würde anstelle des WTI (Effizienz x Effektivität) ausschliesslich die Effizienz als massgebendes Entscheidkriterium verwendet, so lassen sich die veränderten Investitionsentscheide mit der folgenden Abbildung darstellen.

Abbildung 5-8: Lärmschutzwände: Veränderung des Investitionsentscheids aufgrund der Effizienz, abhängig von der gewählten maximalen Bautiefe



Bei einer geringen Bautiefe von 2 bis 4 Baureihen (ganz links) können die zusätzlichen Gesundheitsnutzen die Reduktion der Mietzinsnutzen nicht ausgleichen. Es würden zehn bis zwölf Fallbeispiele auf Basis einer reinen Effizienz nicht mehr realisiert, wobei sie mit der alten Methodik noch gebaut worden wären.⁵⁹ Dem gegenüber stehen ein bis fünf Fallbeispiele,

⁵⁹ Grundsätzlich ist der Zusammenhang zwischen der höheren Zahl an Baureihen (Bautiefe) und der höheren Effizienz der Lärmschutzwand nachvollziehbar. Dies legt daran, dass die Gesundheitskosten bereits ab einer Lärmschwelle von 48 dB(A) Tages-, Abend- und Nachtlärm auftreten und die neue Methodik bereits ab einer Lärmschwelle von 40 dB(A) Nachtlärm von Mietzinsverlusten ausgeht. Dies stellt höhere Anforderungen an die Lärmmessungen oder

die neu zusätzlich realisiert würden. Ab einer Bautiefe von 8 Baureihen treten keine grossen Verschiebungen mehr auf.

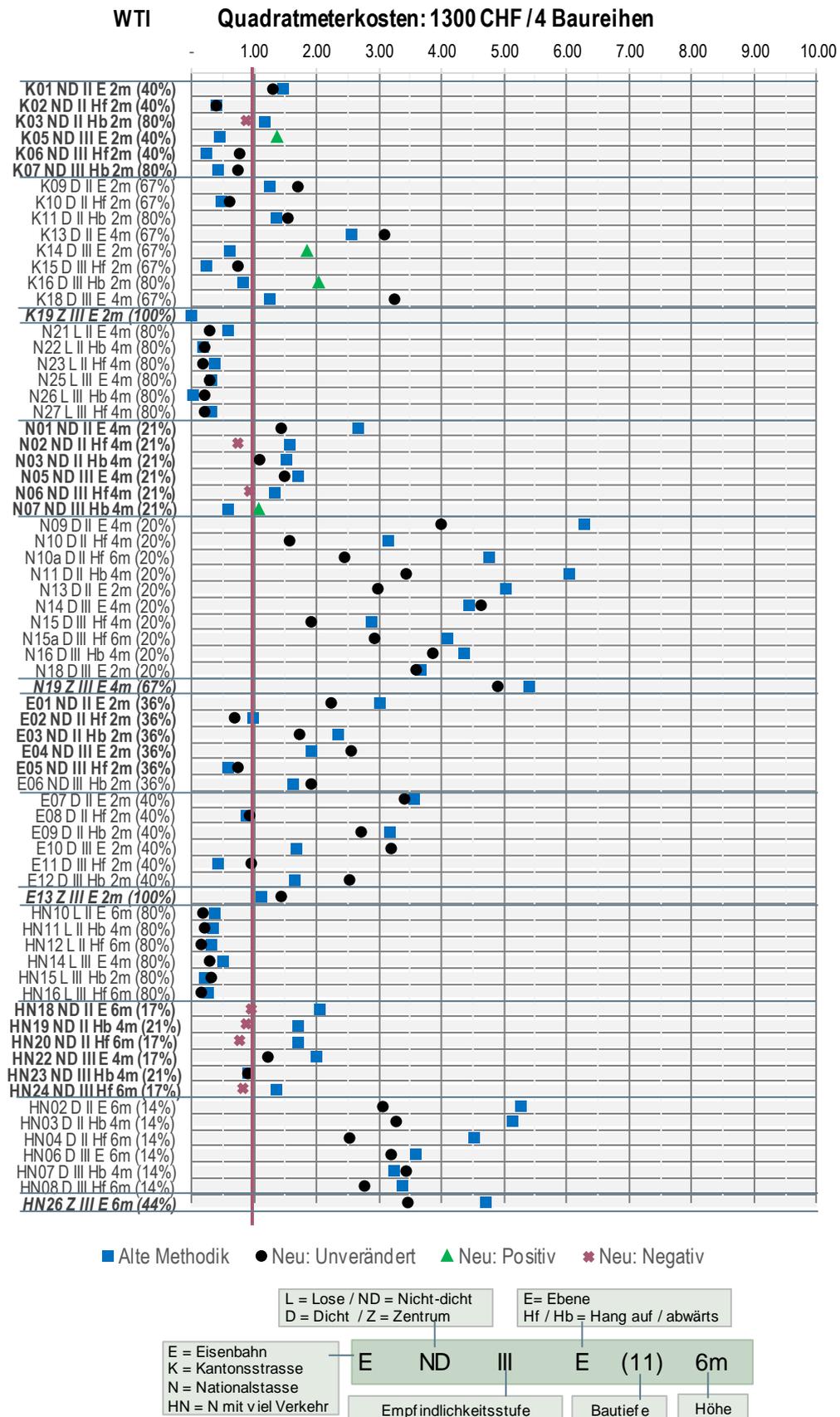
Im Vergleich zum Investitionsentscheid auf Basis des WTI ist festzustellen, dass in der neuen Methodik bei reiner Effizienzentscheid wesentlich weniger Lärmschutzwände (in 12 Fallbeispielen) realisiert würden als wenn für den Investitionsentscheid auf den WTI (40) abgestützt wird.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft für eine Bautiefe von 4 Baureihen, wie die Investitionsentscheide mit den vorgeschlagenen Anpassungen ausfallen würden. Die Abbildung ist wie folgt zu lesen:

- **Fallbeispiel:** Links sind die Fallbeispiele beschriftet. In Klammer ist der Anteil der in der Berechnung vorhandenen Baureihen angegeben, der berücksichtigt wurde. Ein Wert kleiner 100% weist darauf hin, dass bis zur Abdeckung der Schwellenwerte (für Gesundheitskosten und Mietzinsverluste) noch nicht alle Baureihen einbezogen wurden. Es gibt also beim Nutzen noch zusätzliches Potenzial.
- Die **vertikale rote Linie** markiert einen WTI von 1.0. Alle Fallbeispiele, die rechts dieser Linie liegen, gelten als genügend bis sehr gut und sollten realisiert werden. Fallbeispiele mit einem WTI kleiner 1.0 gelten als «ungenügend» oder sogar «schlecht».
- **Blaue Quadrate:** WTI des Fallbeispiels mit der alten Methodik
- **Schwarze, rote und grüne Symbole:** WTI des Fallbeispiels bei Umsetzung der Methodikänderung
 - **Schwarze Punkte:** Fallbeispiel ohne Änderung beim Investitionsentscheid aufgrund des WTI
 - **Rote Kreuze:** Fallbeispiel mit Änderung des Investitionsentscheids in Richtung «nicht realisieren». Das Fallbeispiel weist mit der alten Methodik einen WTI von > 1 auf, würde mit der Methodikänderung aber neu einen WTI unter 1 haben.
 - **Grüne Dreiecke:** Fallbeispiel mit Änderung des Investitionsentscheids in Richtung «realisieren». Diese Fallbeispiele weisen mit der alten Methodik einen WTI kleiner 1 auf, mit der Änderung der Methodik würde sich ein WTI grösser als 1 ergeben.

Lärmsimulationen. Bei einzelnen Fallbeispielen sind Lärmberechnungen bis zu einer Bautiefe von über 20 Häuserreihen notwendig, um alle entstehenden Gesundheitskosten und Mietzinskosten zu erfassen. Die Bautiefe des untersuchten Gebiets muss jeweils so gewählt werden, dass eine Überschreitung der angenommenen Schwellenwerte von 40 dB(A) Nachtlärm und/oder 48 dB(A) Tages-, Abend- und Nachtlärm auf jeden Fall überprüft werden kann.

Abbildung 5-9: Lärmschutzwände: WTI bei mittlerer Ausführung, Bautiefe = 4

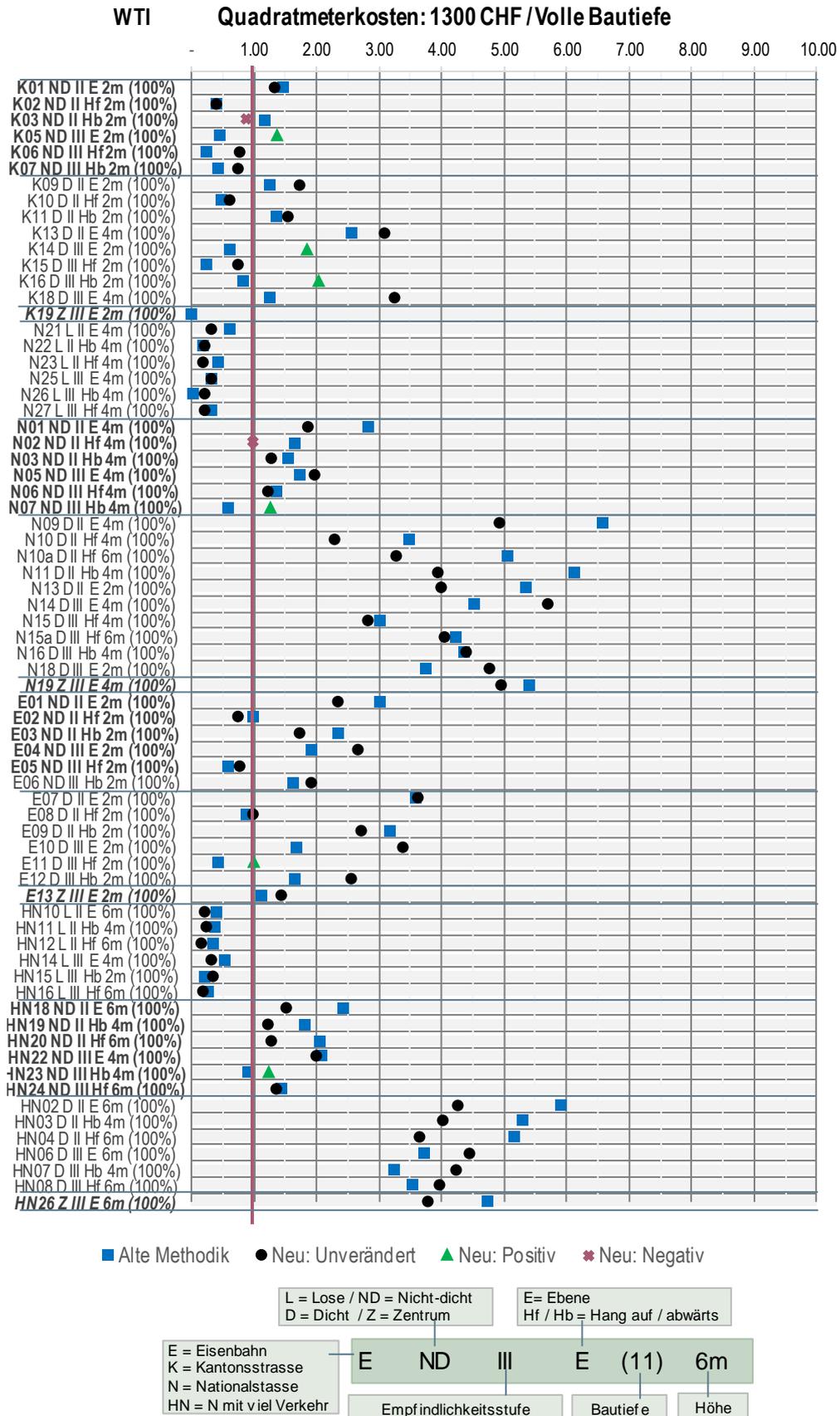


Die Abbildung zeigt, dass vier Fallbeispiele existieren, die aufgrund der Methodikanpassung auf die rechte Seite fallen (grüne Dreiecke) und gegenüber der bisherigen Methodik neu realisiert würden. Dies sind die Beispiele K05, K14, K16 und N07.

Es gibt sieben Fallbeispiele, die aufgrund der untersuchten Methodikanpassungen auf die linke Seite fallen (rote Kreuze), also nicht mehr realisiert würden. Es handelt sich um die Beispiele K03, N02, N06 sowie die Fallbeispiele HN18-20 und HN24. Alle nicht mehr realisierten Fallbeispiele stehen in einer nicht-dichten Besiedlung (ND) und fünf von sieben stehen in der ES II. Es wurde zudem mit 4 Baureihen nur bei einem dieser Fallbeispiele eine Abdeckung der Baureihen von über 21% erreicht (K03).

Die folgende Abbildung 5-10 zeigt als Ergänzung auch noch das Bild bei voller Bautiefe. Hier wird das vorhandene Potenzial vollständig ausgenutzt (alle Bautiefen sind 100% einbezogen). Es verbleiben zwei Fallbeispiele, die nicht mehr realisiert würden (rote Kreuze). Sechs Fallbeispiele würden zusätzlich realisiert (grüne Dreiecke).

Abbildung 5-10: Lärmschutzwände: WTI bei mittlerer Ausführung, volle Bautiefe



5.4 Einfluss der (neuen) Annahmen auf der Kostenseite

Im vorangehenden Abschnitt wurde untersucht, wie sich nutzenseitige Anpassungen in der Berechnungsmethodik auf die WTI-Ergebnisse auswirken würden. Im vorliegenden Kapitel wird zusätzlich zu den nutzenseitigen Anpassungen eine Veränderung bei den Kosten berücksichtigt. Konkret werden folgende Einflussgrößen untersucht:⁶⁰

- **Variation der Kosten der Lärmschutzwand:** Bisher wurde von einer «mittleren Ausführung» der Lärmschutzwand ausgegangen. In Abschnitt 5.4.1 wird das Ergebnis für den WTI auch noch für eine «einfache», «komplexe» wie auch «teure» Ausführung dargestellt.
- **Verwendung eines tieferen Kapitalzinssatzes:** In Abschnitt 5.4.2 wird gezeigt, wie sich das Ergebnis verändert, wenn für den Kapitalzinssatz statt wie bisher 3% ein neuer Satz von 1.9% verwendet wird.
- **Annahme einer höheren Lebensdauer:** Im heutigen Standardfall wird zur Berechnung des WTI von einer Lebensdauer von 30 Jahren ausgegangen. In Abschnitt 5.4.3 wird der Einfluss der Lebensdauer auf die Investitionsentscheide getestet.

Die Analyse wird für alle 70 Fallbeispiele durchgeführt. Den Ergebnissen liegt eine Bautiefe von 4 Baureihen sowie die vorgeschlagenen Änderungen auf der Nutzenseite (Einbezug der Gesundheitskosten, Anpassung der Mietzinsausfälle) zugrunde. Verglichen werden die Investitionsentscheide in der bisherigen versus der neuen Nutzenmethodik unter gleichzeitiger Variation der Kostensätze in beiden methodischen Ansätzen (vgl. nachstehende Abbildung).

⁶⁰ Die Analyse wird wiederum für 70 Fallbeispiele durchgeführt. Den Ergebnissen liegt dabei eine Bautiefe von 4 Baureihen zugrunde.

Abbildung 5-11: Systematik für Vergleich der Investitionsentscheide mit alter und neuer Methodik

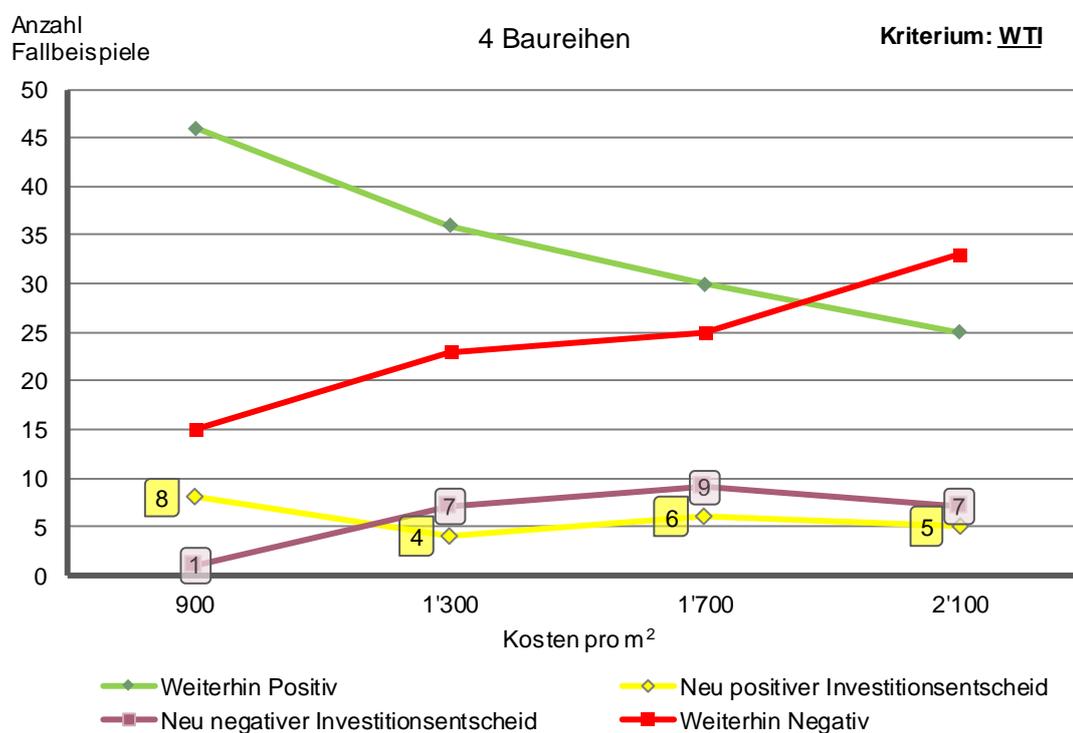
	Bisherige Methodik	Neue Methodik
Nutzen	<ul style="list-style-type: none"> – Mietzinsverluste über LSV-Grenzwerten, Abschlag abgestuft nach Lärmklassen (0.8%-1%) – Kein Einbezug von Gesundheitsschäden 	<ul style="list-style-type: none"> – Mietzinsverluste ab Überschreitung Schwellenwert (40 dB(A) Nacht / 50 dB(A) Tag, einheitlicher tieferer Abschlag von 0.25% Strassenlärm und 0.27% Schienenlärm – Einbezug von Gesundheitsschäden ab Schwellenwert 48 dB(A) LDEN
Gleichzeitig untersuchte Kostenanpassungen		
– Investitionskosten	– 900 CHF/m ² , 1'300 CHF/m ² , 1'700 CHF/m ² , 2'100 CHF/m ²	
– Kapitalzinssatz	– 1.9%, 2.5%, 3.0%	
– Lebensdauer	– 30, 32, 34, 36, 38, 40 Jahre	

5.4.1 Einfluss der Kosten der Lärmschutzwand

Bisher wurde mit Investitionskosten von 1'300 CHF/m² eine «mittlere Ausführung» der Lärmschutzwand betrachtet. Die Baukosten können gemäss Auswertung der Umfrage unter den Kantonen (siehe Kapitel 4.1.2) aber je nach Ausführung und Umgebung stark variieren (von ca. 500 bis über 4'000 CHF pro m²).

Die folgende Abbildung zeigt auf, wie sich die Investitionsentscheide in Abhängigkeit der Investitionskosten für die Lärmschutzwände verändern würden. Ausgewiesen werden die Ergebnisse für eine bisher «einfache Ausführung» (900 CHF/m²) und «komplexe Ausführung» (1'700 CHF/m²) sowie für die bereits auf der Nutzenseite untersuchte «mittlere Ausführung» (1'300 CHF/m²). Aufgrund der Umfrageergebnisse bei den Kantonen haben wir auch noch eine «teure Ausführung» (2'100 CHF/m²) ergänzt.

Abbildung 5-12: Lärmschutzwände: Veränderung des Investitionsentscheids aufgrund des WTI, abhängig von den Baukosten der Lärmschutzwand, Bautiefe = 4



Übrige Annahmen: Bautiefe = 4, 3% Kapitalzinssatz

Bei **einfacher Ausführung** (900 CHF/m²) gibt es neun Fallbeispiele, bei denen sich der Investitionsentscheid ändert. Ein Fallbeispiel (E2) würde mit den neuen Annahmen zur Nutzenseite nicht mehr realisiert. Acht würden mit den geänderten Nutzenannahmen neu zusätzlich realisiert.

Bei **mittlerer Ausführung** (1'300 CHF/m²) gibt es – wie bereits in Abschnitt 5.3.1 gezeigt – vier Fallbeispiele, die aufgrund der Methodikanpassung neu realisiert würden. Sieben Fallbeispiele würden neu nicht mehr realisiert.

Bei **komplexer Ausführung** (1'700 CHF/m²) der Lärmschutzwand steigen die angenommenen Kosten pro Quadratmeter weiter. Dies führt zu einer tieferen Effizienz und damit zu einem tieferen WTI, sowohl in der bisherigen als auch in der neuen Methodik.

- Es gibt sechs Fallbeispiele, die aufgrund der Methodikanpassung neu realisiert werden. Dies sind zwei mehr als bei mittlerer Ausführung (vgl. hierzu nachfolgender Exkurs).
- Es gibt neun Fallbeispiele, die aufgrund der untersuchten Methodikanpassungen nicht mehr realisiert würden.

Bei **teurer Ausführung** (2'100 CHF/m²) ergibt sich eine ähnliche Konstellation wie der komplexen Ausführung (7 würden in der neuen Methodik nicht mehr realisiert, bei 6 anderen würde demgegenüber ein neu positiver Entscheid resultieren). Es werden aber mit der neuen und der bisherigen Berechnungsmethode bei der teuren Ausführung insgesamt deutlich weniger Lärmschutzwände realisiert, was nicht weiter erstaunlich ist.

Exkurs: Führen die höheren Kostensätze für die Massnahmen zu Änderungen bei den Investitionsentscheiden?

Durch eine generelle Erhöhung der Kosten steigt die Zahl der sowohl in der bisherigen als auch in der neuen Methodik nicht realisierten Massnahmen. Dies zeigt sich im oberen Teil der Abbildung 5-12 insbesondere im Anstieg der roten Kurve von 15 auf 33 abgelehnte Massnahmen.

Der Verlauf der violetten (gelben) Kurven im unteren Bereich zeigen, in wie vielen Fällen es bei einer Erhöhung der Kosten zu einem Wechsel des Investitionsentscheides zwischen der alten und neuen Methode kommt. Diese Zahl muss mit der Erhöhung der Kosten nicht automatisch linear ansteigend verlaufen (oder abfallend im Falle der gelben Kurve). So sind z.B. bei höheren Kosten nicht einfach mehr Änderungen bei den neu negativen (oder neu positiven bei der gelben Kurve) Investitionsentscheiden zu erwarten. Grund dafür ist, dass bei Erhöhung der Kosten andere Fallbeispiele in den Bereich mit «Kippeffekt» geraten, als bei tieferen Kosten. Die folgende Abbildung zeigt dies anhand einer fiktiven Massnahme:

- Bei **tiefen Kosten** (erste Zeile) weist die Massnahme einen sehr hohen WTI auf, sowohl in der bisherigen Methodik als auch in der neuen Methodik. Es besteht nicht die «Gefahr» einer Änderung des Investitionsentscheids, weil der WTI deutlich über 1.0 liegt.
- Der WTI der gleichen Massnahme liegt bei **mittleren Kosten** (zweite Zeile) logischerweise generell tiefer und in der alten Methodik nur noch vergleichsweise knapp über 1.0. In dieser Ausgangslage kann es gut sein, dass durch die Nutzenreduktion aufgrund der neuen Methodik der WTI unter 1.0 fällt und es zu einem Wechsel im Investitionsentscheid kommt.
- Bei **sehr hohen Kosten** (dritte Zeile) liegt die gleiche Massnahme wieder ausserhalb des Bereichs, bei dem Änderungen am Investitionsentscheid zu erwarten wären.

Abbildung 5-13: Beispiel zur Veranschaulichung des Effekts

	WTI bisherige Methodik	WTI neue Methodik	
Tiefe Kosten	10	8.0	Keine Veränderung, weil der WTI deutlich über 1.0 liegt
Mittlere Kosten	1.2	0.8	Veränderung des Investitionsentscheids
Sehr hohe Kosten	0.8	0.5	Keine Veränderung, weil der WTI deutlich unter 1.0 liegt

Nachfolgend sind die WTI-Veränderungen für die Fallbeispiele mit Lärmschutzwand von «einfacher Ausführung» (Abbildung 5-14) und von «komplexer Ausführung» (Abbildung 5-15) dargestellt.⁶¹

⁶¹ Für eine Lesehilfe zu den Beispielen verweisen wir auf die Ausführungen oberhalb der Abbildung 5-9, S. 62.

Abbildung 5-14: Lärmschutzwände: WTI bei einfacher Ausführung, Bautiefe = 4

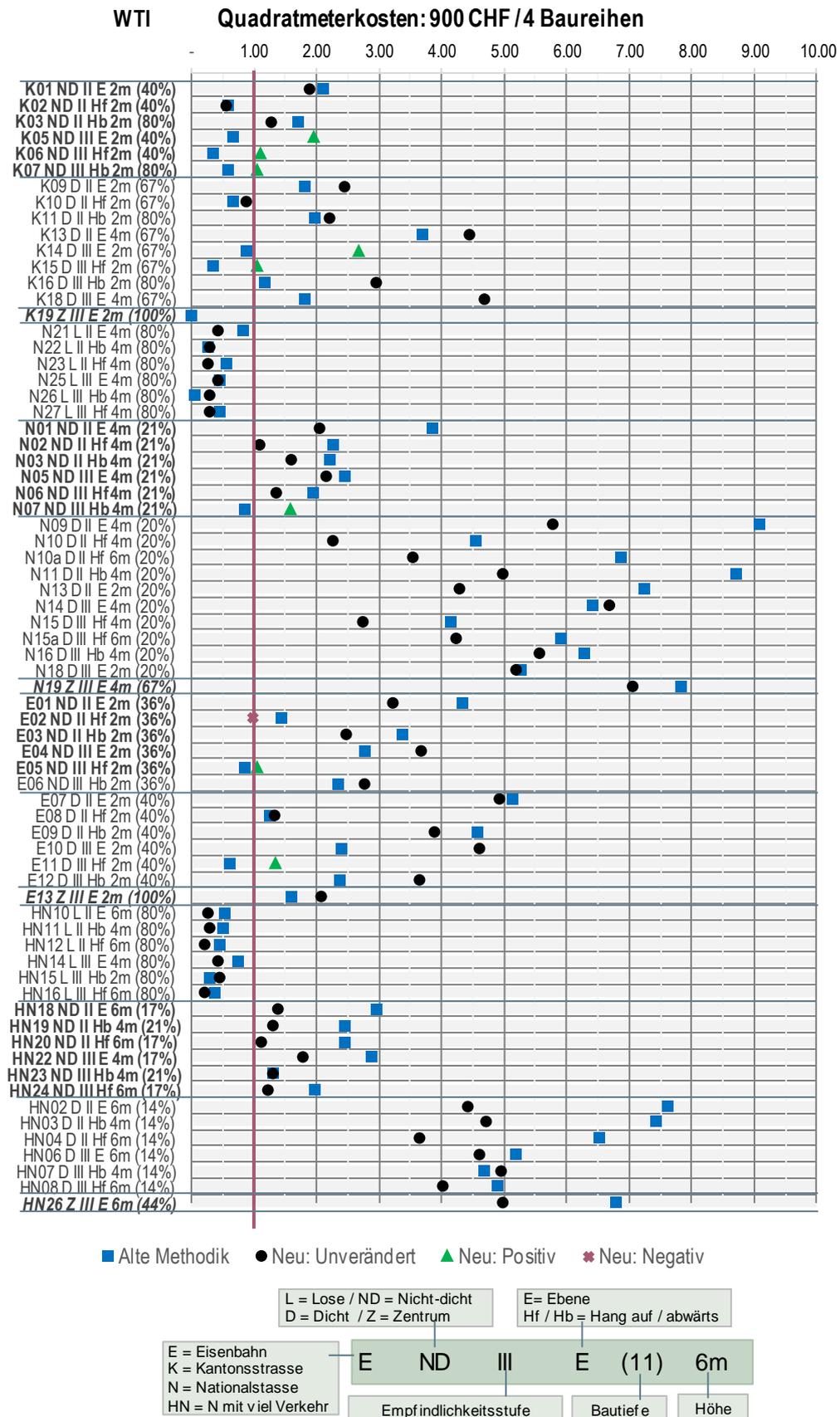
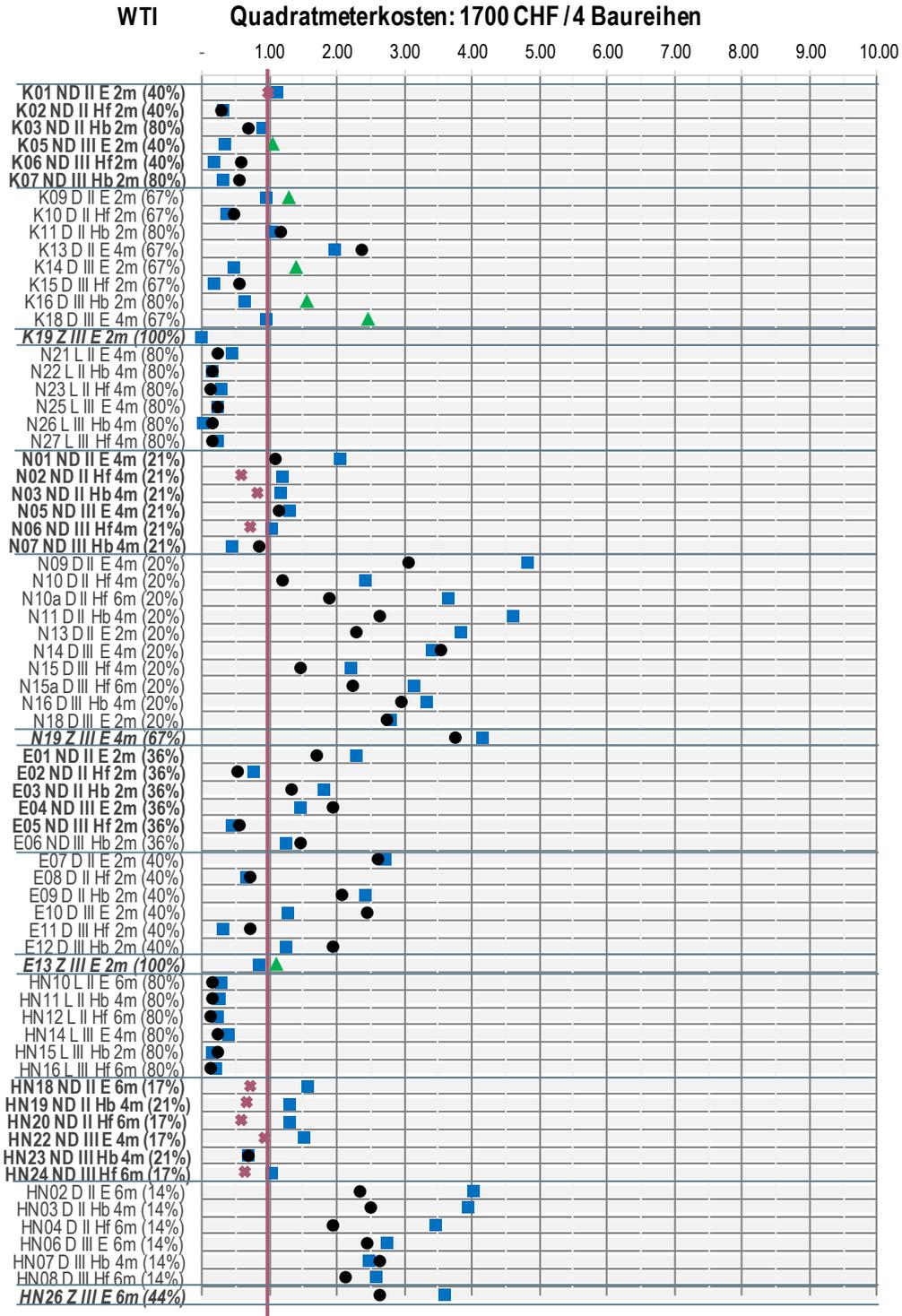


Abbildung 5-15: Lärmschutzwände: WTI bei komplexer Ausführung, Bautiefe = 4



■ Alte Methodik ● Neu: Unverändert ▲ Neu: Positiv * Neu: Negativ

L = Lose / ND = Nicht-dicht
D = Dicht / Z = Zentrum

E = Ebene
Hf / Hb = Hang auf / abwärts

E = Eisenbahn
K = Kantonsstrasse
N = Nationalstrasse
HN = N mit viel Verkehr

E ND III E (11) 6m
Empfindlichkeitsstufe Bautiefe Höhe

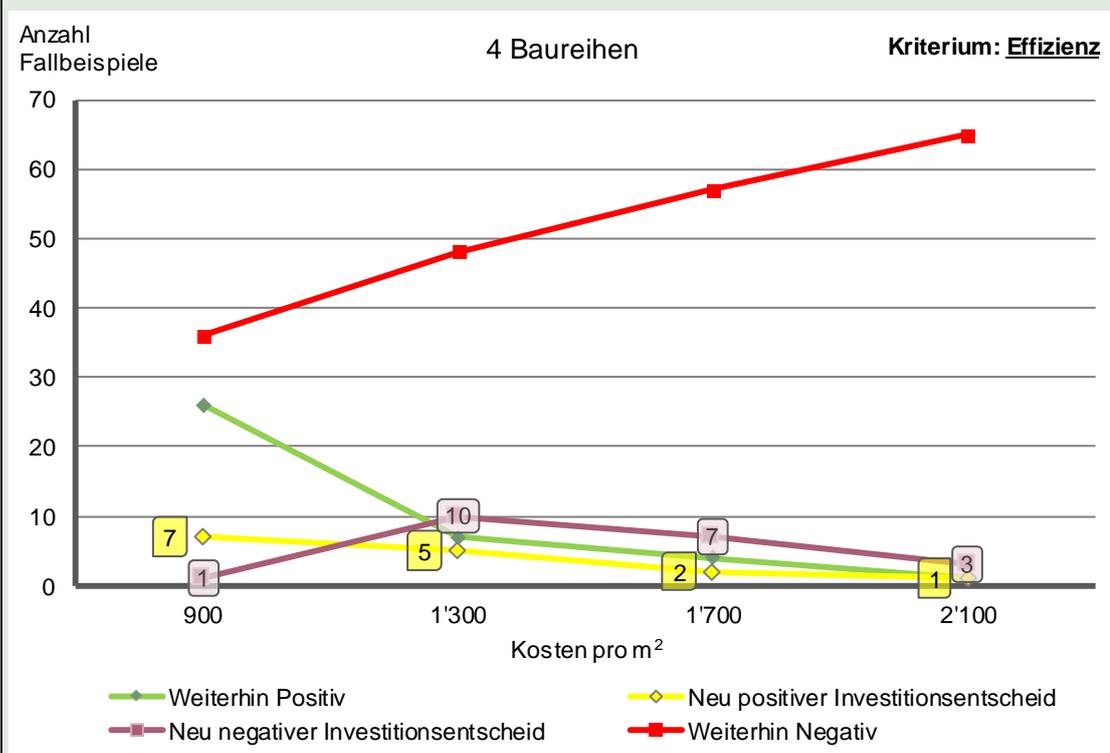
Exkurs: Effizienz als Entscheidkriterium

Wie bei den Ausführungen zu den nutzenseitigen Anpassungen (vgl. Exkurs S. 60) wird auch im vorliegenden Exkurs aufgezeigt, wie sich der Investitionsentscheid verändern würde, wenn ausschliesslich das Effizienzmass (Nutzen-Kosten-Verhältnis) zum Tragen käme.

Verglichen werden in Abbildung 5-8 die Ergebnisse in der bisherigen und neuen Nutzenmethodik bei 4 Baureihen und einer Änderung der Investitionskosten für die Lärmschutzwände. Wie zu erwarten ist, verbessert sich insgesamt gegenüber der «mittleren Ausführung» die Effizienz bei «einfacher Ausführung» und sie verringert sich bei «komplexer Ausführung». Bezüglich der Investitionsentscheide in der bisherigen und neuen Methodik lassen sich folgende Veränderungen feststellen:

- Bei einer einfachen Ausführung (900 CHF/m²) würde sich der Investitionsentscheid gegenüber der bisherigen Methodik bei 8 Fallbeispielen ändern, 1 würde nicht mehr realisiert und 7 würden neu realisiert.
- Bei einer komplexen Ausführung (1'700 CHF/m²) würde sich der Investitionsentscheid bei 9 Fallbeispielen ändern. Sieben würden nicht mehr realisiert. Zwei würden neu realisiert.
- Bei noch höheren Kosten (2'100 CHF/m²) reduziert sich die Zahl der Änderungen auf 4 Fallbeispiele. Sowohl in der bisherigen als auch in der neuen Methodik werden nur noch wenige Lärmschutzwände realisiert.

Abbildung 5-16: Lärmschutzwände: Veränderung des Investitionsentscheids aufgrund der Effizienz abhängig von den Baukosten, Bautiefe = 4

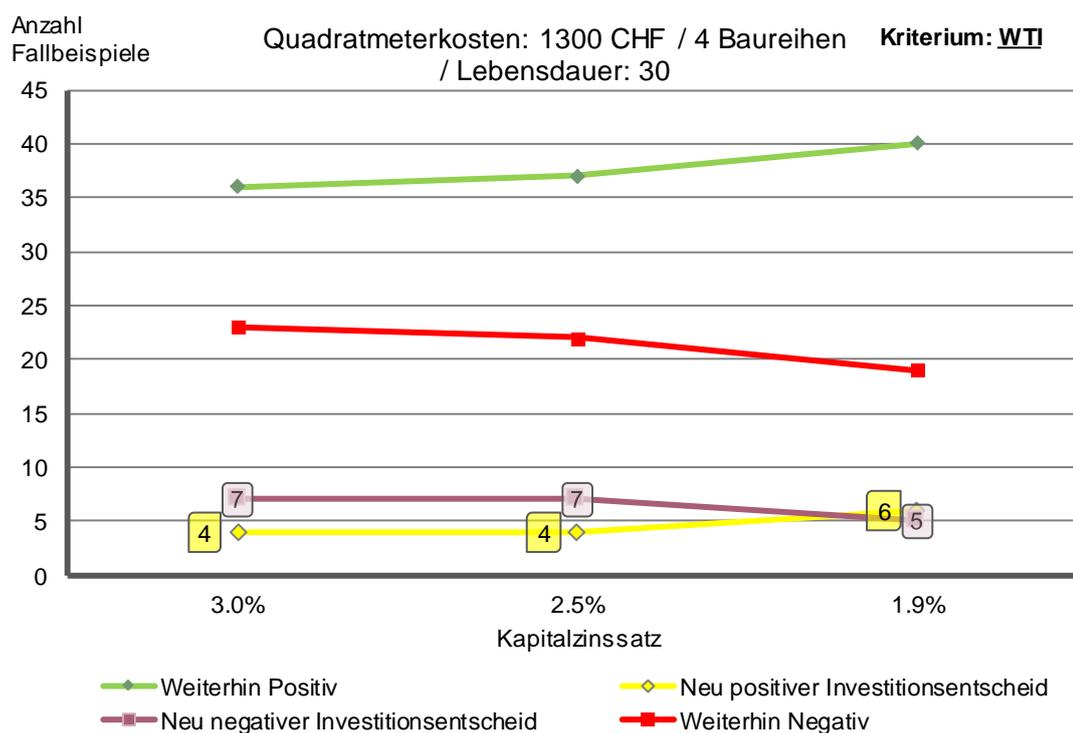


5.4.2 Einfluss des Kapitalzinssatzes

Im Grundsatz bedeutet ein tieferer Zinssatz bei der Berechnung des WTI geringere Jahreskosten und damit eine höhere Effizienz. Im bestehenden Berechnungstool zum WTI wird standardmässig von einem Zinssatz von 3.0% ausgegangen. Im heutigen Zinsumfeld ist ein Zinssatz von 3% als eher hoch zu erachten. In der Vorstudie⁶² wird aufgrund des aktuellen Zinsumfelds ein Wert von 1.9% vorgeschlagen. Wir untersuchen nachfolgend zusätzlich die Ergebnisse für einen Zinssatz von 2.5%.

Die folgende Abbildung zeigt den Vergleich der untersuchten Kapitalzinssätze für eine mittlere Ausführung mit vier Baureihen. Bei einem reduzierten Zinssatz von 1.9% (statt bisher 3%) würden in der neuen Methodik 6 Fallbeispiele zusätzlich gebaut und auf 5 würde gegenüber der bisherigen Methodik verzichtet. Insgesamt erhöht sich aber die Anzahl der realisierten Fallbeispiele von 43⁶³ bei 3% in der bisherigen Methodik auf 46⁶⁴ bei 1.9% in der neuen Methodik.

Abbildung 5-17: Lärmschutzwände: Veränderung des Investitionsentscheids aufgrund des WTI abhängig vom Zinssatz in der neuen Methodik, Bautiefe = 4, Mittlere Ausführung



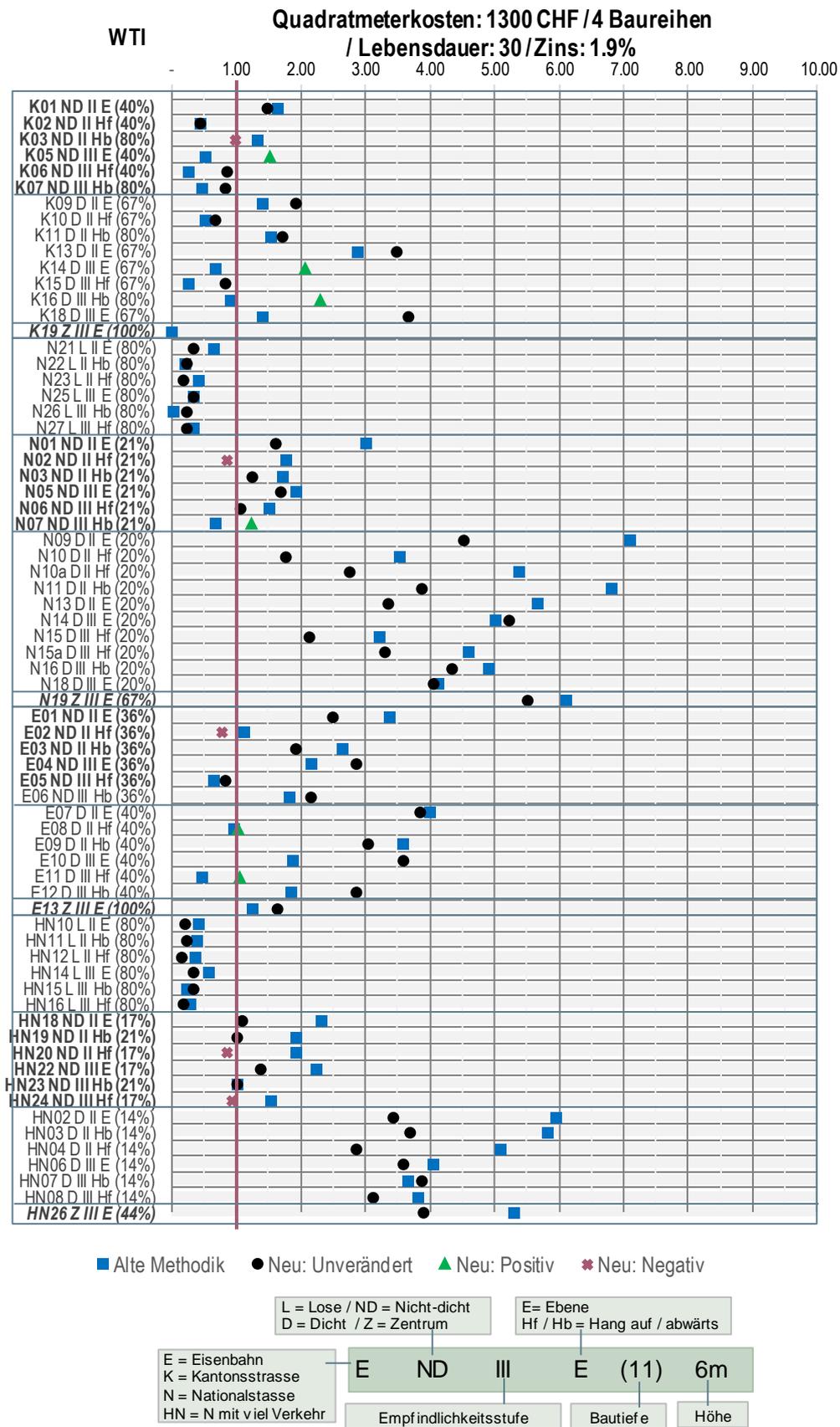
⁶² Vgl. BSS / Basler & Hoffmann (2017), Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen. Basel.

⁶³ Die Anzahl 43 ergibt sich aus den 36 Fällen «weiterhin positiv» sowie den 7 Fällen «neu negativer Investitionsentscheid» beim Zinssatz von 3%.

⁶⁴ Der Wert 46 setzt sich aus den 40 Fällen «weiterhin positiv» sowie den 6 Fällen «neu positiver Investitionsentscheid» beim Zinssatz von 1.9% zusammen.

Die folgende Abbildung zeigt den WTI für die bisherige Methodik mit 1.9% Kapitalzinssatz (schwarze Punkte) im Vergleich zur Berechnung mit dem neuen Vorschlag von 1.9% Kapitalzinssatz (inkl. Gesundheitsnutzen und neue Annahmen zum Mietzinsabschlag).

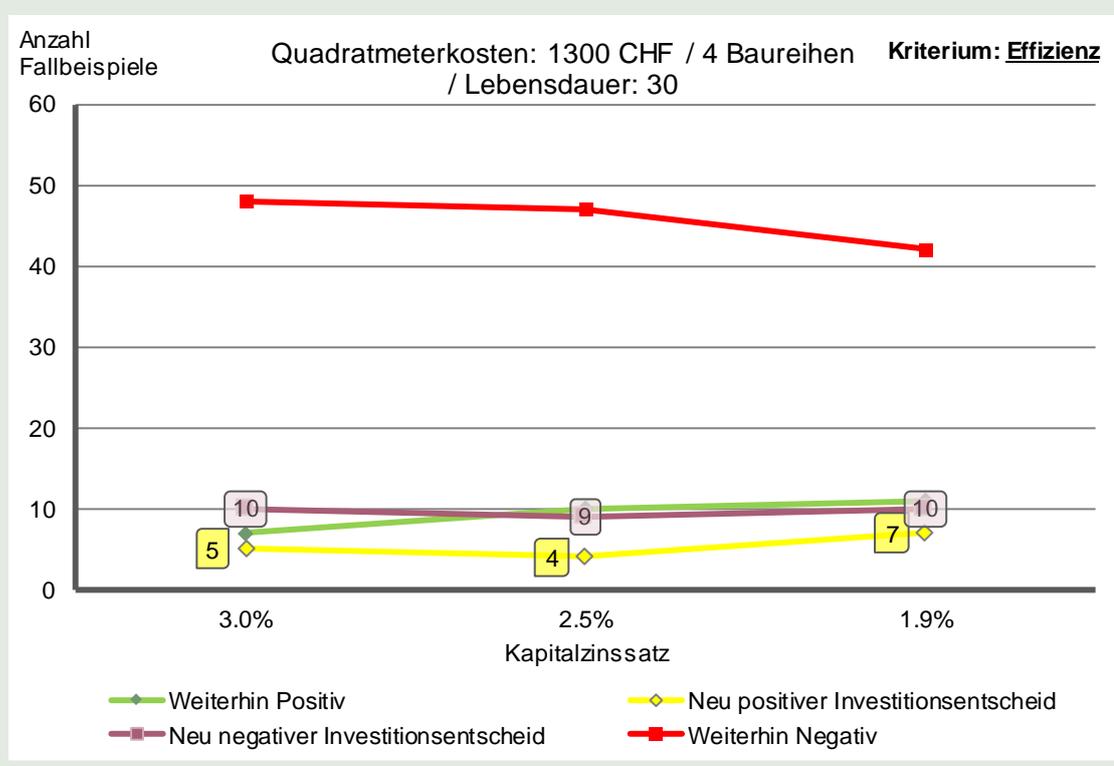
Abbildung 5-18: Lärmschutzwände: WTI der Fallbeispiele bei Zinssatz von 1.9%



Exkurs: Effizienz als Entscheidkriterium

Die folgende Abbildung zeigt die Veränderung der Investitionsentscheide zwischen der bisherigen und neuen Methodik, wenn die Entscheide ausschliesslich auf der Effizienz und nicht dem kombinierten WTI (Effizienz multipliziert mit der Effektivität) getroffen würden. Es zeigt sich, dass bei diesem Entscheidkriterium sowohl in der bisherigen wie auch in der neuen Methodik zur Nutzenbewertung die Anzahl der realisierten Fallbeispiele wesentlich geringer ausfallen würde als bei Anwendung des WTI (vgl. Abbildung 5-17).

Abbildung 5-19: Lärmschutzwände: Veränderung des Investitionsentscheids aufgrund Effizienz abhängig vom Zinssatz in der neuen Methodik, Bautiefe = 4, mittlere Ausführung

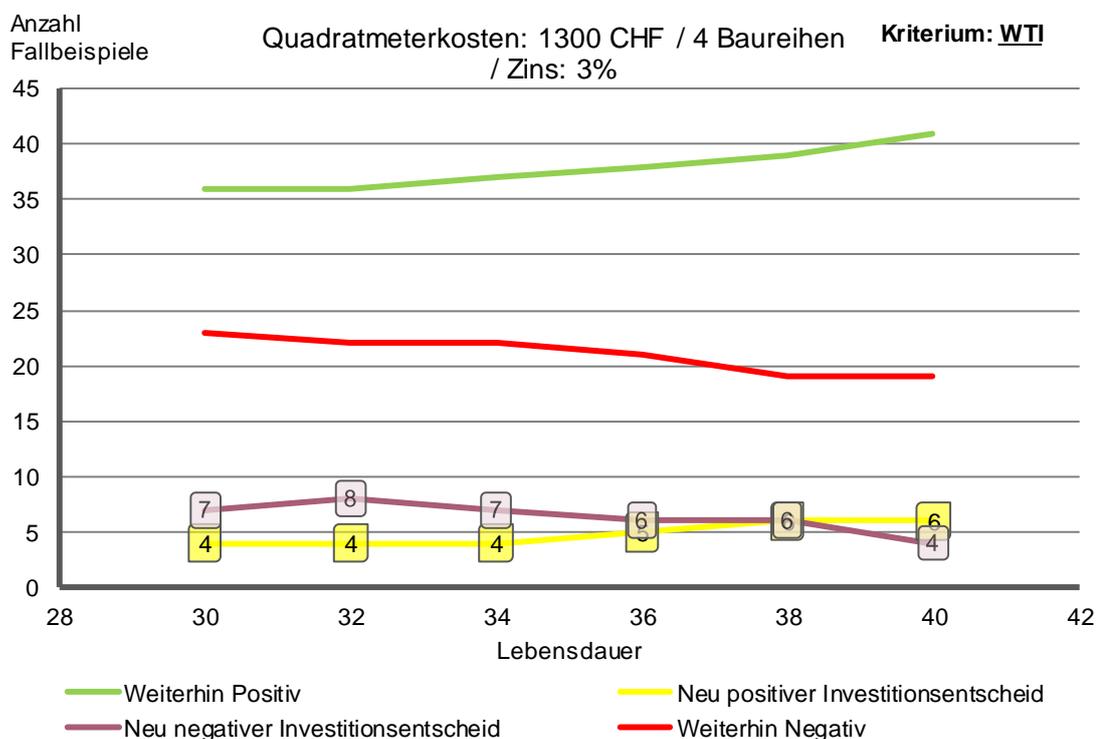
**5.4.3 Einfluss der Lebensdauer**

Die folgende Abbildung zeigt, wie sich die Investitionsentscheide auf Basis des WTI verändern, wenn die Lebensdauer zwischen 10 und 15 Jahren variiert wird. Wiederum erfolgt die Darstellung als Vergleich zwischen positiven und negativen Investitionsentscheiden in der bisherigen und neuen Methodik.

Wie zu erwarten ist, nimmt die Zahl der positiven Investitionsentscheide mit höherer Lebensdauer zu. Dies gilt sowohl in der bisherigen wie auch in der neuen Methodik. Bei einer Lebensdauer von 30 Jahren werden in der bisherigen Methodik 43 und in der neuen 40 Beispiele

realisiert.⁶⁵ bei einer Verlängerung auf 40 Jahre würden mit der bisherigen Methode 45 gebaut und mit der neuen 42.⁶⁶

Abbildung 5-20: Lärmschutzwände: Einfluss der Lebensdauer auf die Investitionsentscheide aufgrund des WTI



5.5 Fazit zu Lärmschutzwänden

Die Berechnung des WTI und der daraus resultierende Investitionsentscheid würde sich bei knapp 10-20% von 70 Fallbeispielen mit Lärmschutzwänden ändern. Die sich negativ verändernden Fallbeispiele und die sich positiv verändernden Fallbeispiele halten sich bei 4-6 Baureihen in etwa die Waage.

Fallbeispiele mit folgenden Eigenschaften sind bei den Vorschlägen zur Anpassung der Nutzenberechnungen besonders von geänderten Investitionsentscheiden betroffen:

- Bei Fallbeispielen mit nicht-dichter Besiedlung würden tendenziell weniger Massnahmen realisiert als bisher. Bei Fallbeispielen mit dichter Besiedlung würden tendenziell mehr Massnahmen umgesetzt.

⁶⁵ 43 in der bisherigen Methodik mit 30 Jahren = 36 «weiterhin positiv» + 7 «neu negativer Investitionsentscheid»
40 in der neuen Methodik mit 30 Jahren = 36 «weiterhin positiv» + 4 «neu positiver Investitionsentscheid».

⁶⁶ Werte ergeben sich bei Lebensdauer von 40 Jahren analog zur vorangehenden Fussnote.

- Bei Fallbeispielen in ES III würden tendenziell mehr Massnahmen realisiert und in ES II tendenziell weniger.

Der Einfluss der Annahmen auf der Kostenseite ist bedeutend.

- Je höher die Kosten pro Quadratmeter sind, desto weniger Fallbeispiele erreichen einen $WTI \geq 1$.
- Je höher die Lebensdauer ist, desto mehr Fallbeispiele werden verhältnismässig.
- Je tiefer der Kapitalzinssatz gewählt wird, desto besser wird das WTI-Ergebnis und umso mehr Fallbeispiele werden realisiert.

Mit sinkenden Kosten (40 statt 30 Jahre Lebensdauer, 1.9% statt 3.0% Kapitalzinssatz) sinkt zudem tendenziell die Zahl der neu negativen Investitionsentscheide und es steigt die Zahl der neu positiven Investitionsentscheide im Vergleich zur bisherigen Methodik.

6 Lärmarme Beläge: Auswirkungen der Änderungen

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der vorgestellten kosten- und nutzenseitigen Anpassungen auf die Investitionsentscheide bei lärmarmen Belägen vorgestellt. Die Darstellung folgt der gleichen Struktur wie die Ausführungen zu den Lärmschutzwänden im vorangehenden Kapitel:

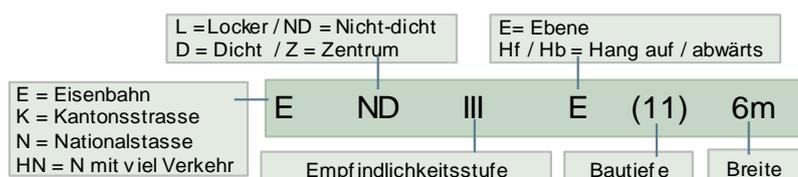
- In Abschnitt 6.1 wird der verwendete Untersuchungsansatz mit den Fallbeispielen vorgestellt.
- In Abschnitt 6.2 wird ausgewiesen, wie die **Effektivität** der Lärmschutzmassnahmen in den Fallbeispielen ausfällt.
- In Abschnitt 6.3 wird dargestellt, wie sich die Investitionsentscheide im Vergleich zur bisherigen Methode verändern, wenn die **Änderungen auf der Nutzenseite** umgesetzt werden.
- In Abschnitt 6.4 wird untersucht, welche weiteren Veränderung sich in den Investitionsentscheiden ergeben, wenn zusätzlich zur Nutzenseite die Parameter auf der **Kostenseite** angepasst werden, beispielsweise der Kostensatz pro m² Lärmschutzwand, die Lebensdauer oder der angenommene Kapitalzinssatz.
- In Abschnitt 6.5 werden die wesentlichen Ergebnisse der Analyse zu einem Fazit zusammengefasst.

6.1 Untersuchungsansatz und Fallbeispiele

Wie bei den Lärmschutzwänden steht bei den lärmarmen Belägen der Investitionsentscheid aufgrund des WTI im Zentrum der Untersuchung. Wir zeigen dabei jeweils, wie sich der Investitionsentscheid verändert, ausgehend von den Anpassungen auf der Nutzenseite sowie zusätzlich aufgrund der angepassten Parameter auf der Kostenseite (vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 5.1).

Für die Analyse der Auswirkungen auf die Beurteilung von lärmarmen Belägen werden 19 Fallbeispiele berechnet. Für die Fallbeispiele wird zur schnellen Identifikation der Parameter wiederum das folgende Kennzeichnungsschema verwendet:⁶⁷

Abbildung 6-1: Kennzeichnungsschema für die Fallbeispiele



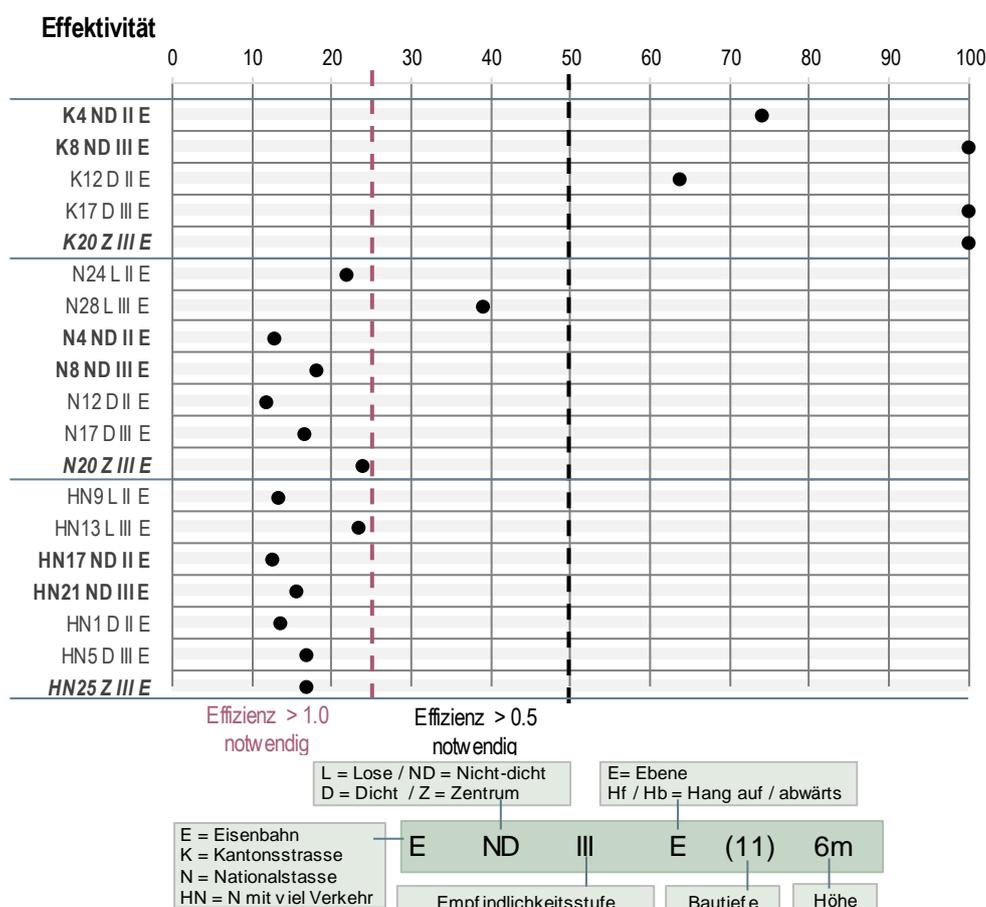
⁶⁷ Statt der Höhe wie bei den Lärmschutzwänden ist neben der Länge der sanierten Strasse für lärmarme Beläge die Breite der Strasse (in m) für die Kosten massgebend.

Es wurde das gleiche Verkehrsaufkommen je Lärmquelle angenommen, wie bei den Beispielen mit Lärmschutzwänden. Bei der Interpretation der Fallbeispiele mit lärmarmen Belägen ist zu beachten, dass bei Kantonsstrassen andere Beläge eingesetzt wurden (SDA4: Wirkung von -4 dB(A)) als bei den Nationalstrassen (SDA8: -1 dB(A)). Eine tabellarische Zusammenstellung der Eigenschaften der Fallbeispiele mit lärmarmen Belägen ist in Anhang C, Kapitel 11 zu finden.

6.2 Effektivität der Fallbeispiele

Die folgende Abbildung zeigt die Effektivität von lärmarmen Belägen in den insgesamt 19 Fallbeispielen. Fast alle Fallbeispiele auf Nationalstrassen (Ausnahme N28) weisen eine Effektivität von unter 25 auf. Dies liegt insbesondere am eingesetzten Belag (SDA8), der eine geringere Wirkung aufweist als die von den Kantonen verwendeten SDA4-Beläge. Sie brauchen deshalb eine Effizienz von deutlich grösser als 1.0, um nach der Berechnung des WTI einen Wert grösser 1.0 zu erreichen. Die fünf Fallbeispiele auf Kantonsstrassen sind hingegen alle sehr effektiv.

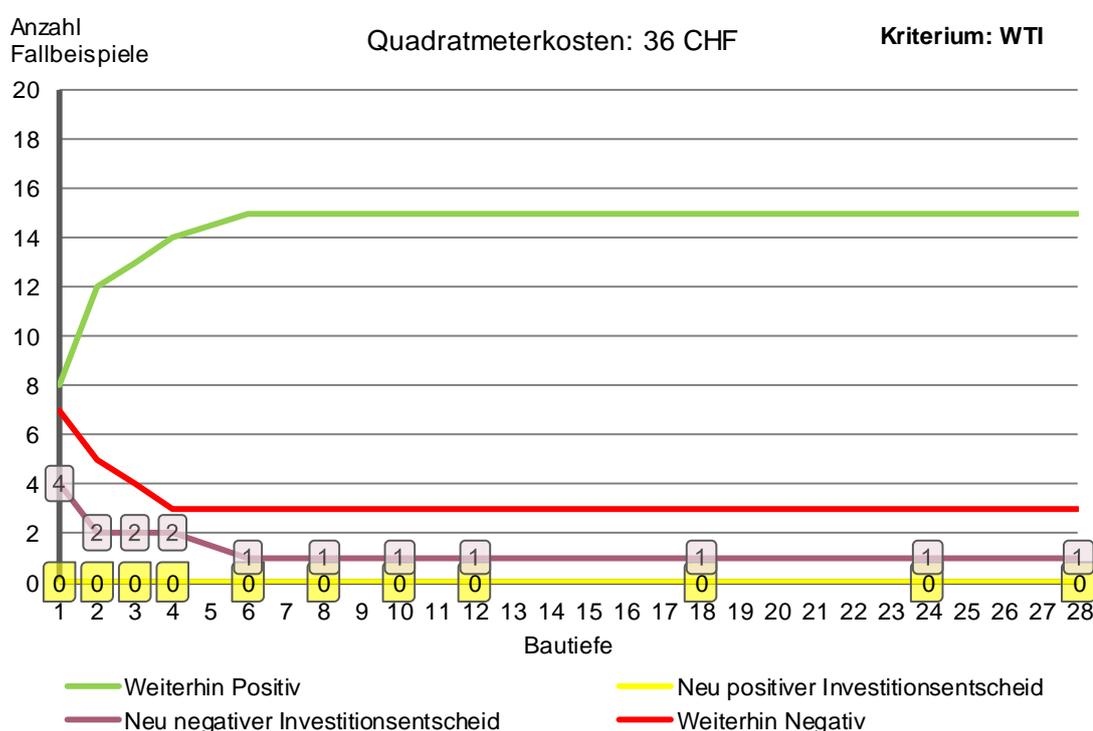
Abbildung 6-2: Lärmarme Beläge: Effektivität der Fallbeispiele



6.3 Auswirkung der neuen Annahmen auf der Nutzenseite

Die folgende Abbildung zeigt, wie sich Investitionsentscheide auf Basis des WTI verändern, wenn die Annahmen auf der Nutzenseite (Mietzinsnutzen und Gesundheitskosten) angepasst werden. Die Annahmen auf der Kostenseite werden vorerst nicht variiert. Wir gehen von den im WTI-Tool vorgegebenen Kosten von 36 CHF/m² aus (für den Referenzbelag werden 30 CHF/m² eingesetzt).

Abbildung 6-3: Lärmarme Beläge: Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI, differenziert nach Bautiefe

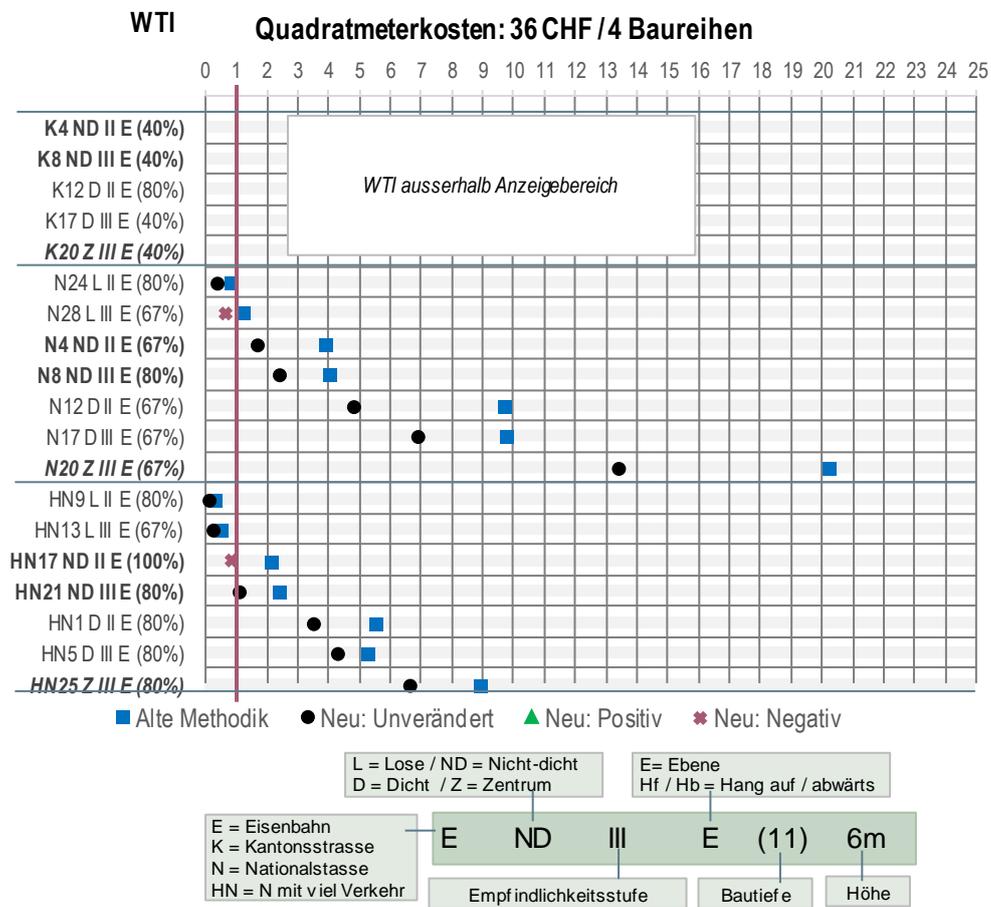


Die neue Ermittlung der Nutzen führt dazu, dass bei geringer Bautiefe die Nutzen im Vergleich zur bisherigen Methode kleiner ausfallen und daher etwas weniger lärmarme Beläge eingebaut würden. Ab der Bautiefe von 6 Baureihen führen die beiden Methoden aber praktisch zu identischen Investitionsentscheiden.

Die folgende Abbildung zeigt für eine Bautiefe von 4 Einheiten die detaillierten WTI-Werte in der bisherigen und neuen Berechnungsmethodik. Bei den Fallbeispielen auf Kantonsstrassen befinden sich die WTI-Werte ausserhalb des angezeigten Wertebereichs (WTI von 50-120). Die verwendeten Symbole sind identisch mit jenen im vorangehenden Kapitel.⁶⁸

⁶⁸ Vgl. für eine Erläuterung der Symbole sowie eine Lesehilfe die Ausführungen zu Abbildung 5-9, S. 62.

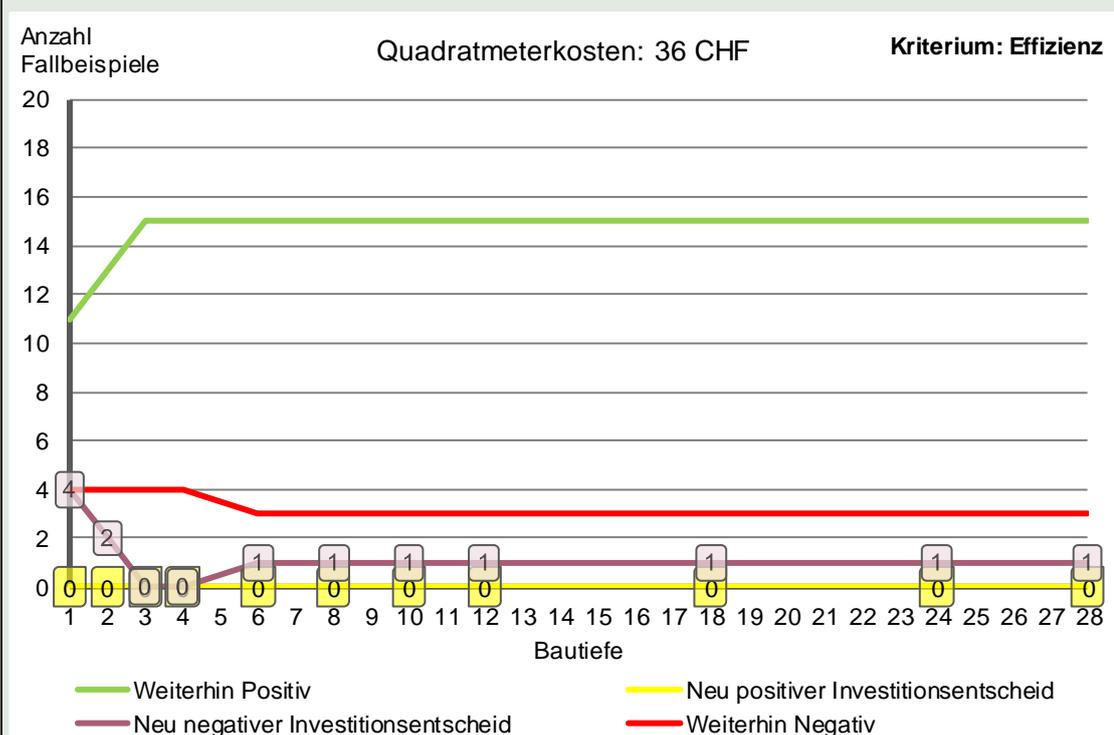
Abbildung 6-4: Lärmarme Beläge: WTI der Fallbeispiele bei Kosten von 36 CHF/m² und Bautiefe = 4



Exkurs: Effizienz als Entscheidkriterium

In der folgenden Abbildung wird gezeigt, wie sich die Investitionsentscheide verändern würden, wenn einzig die Effizienz als Entscheidkriterium beigezogen wird.

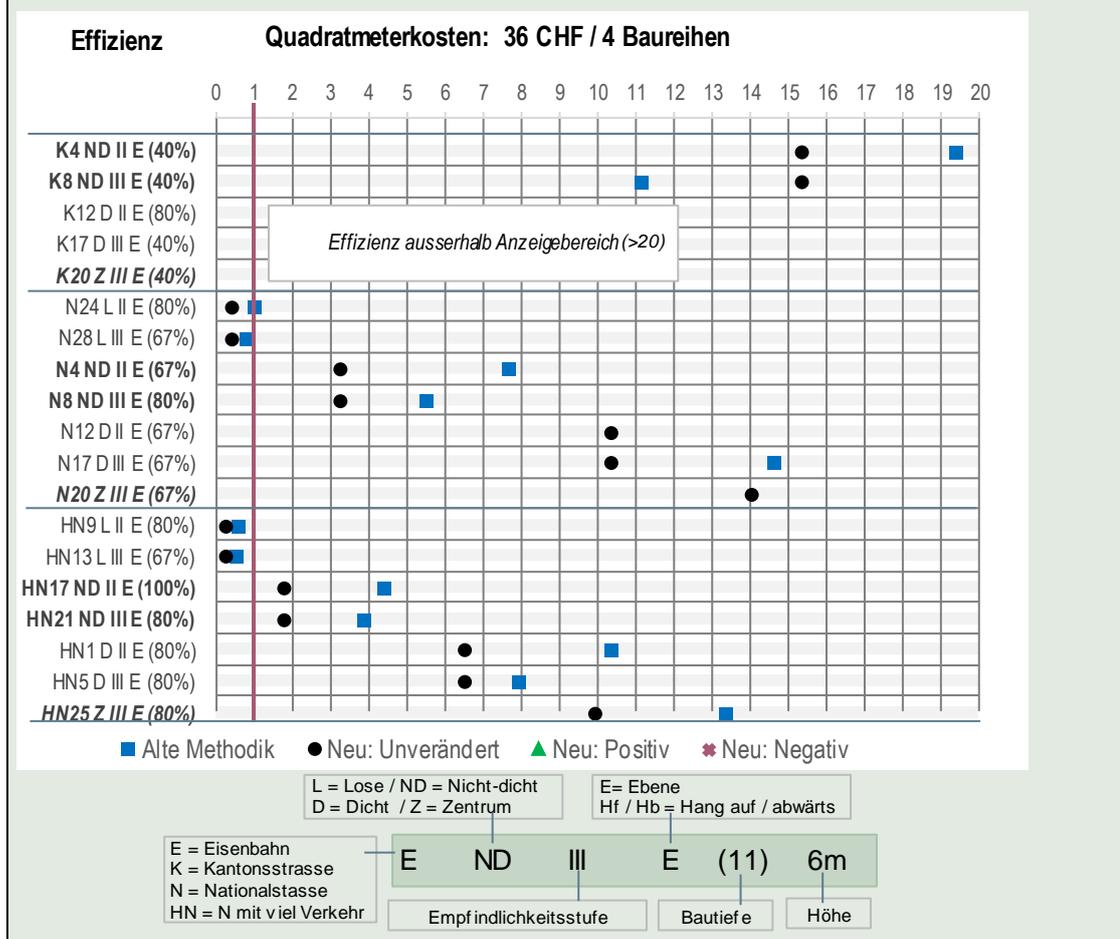
Abbildung 6-5: Lärmarme Beläge: Investitionsentscheide aufgrund der Effizienz, differenziert nach Bautiefe



Aus der Abbildung lässt sich einerseits erkennen, dass die Methodenänderung sich bei den Effizienzergebnissen praktisch gleich auswirken würde wie beim WTI (vgl. vorangehenden Abbildung 6-4). Andererseits zeigt sich aber an der grünen Linie, dass eine Orientierung an der Effizienz insbesondere bei geringer Bautiefe dazu führen würde, dass im Vergleich zum WTI insgesamt leicht mehr lärmarme Beläge eingebaut würden.

Dies hängt damit zusammen, dass die Effektivität von lärmarmen Belägen (gemessen in der Verminderung des Anteils der belärmten Flächen über dem Immissionsgrenzwert) bei einigen Fallbeispielen vergleichsweise klein ist, obwohl sie ein gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis haben. Die multiplikative Verknüpfung von Effektivität und Effizienz führt bei diesen Fallbeispielen zu einem ungenügenden WTI und entsprechend zum Verzicht auf eigentlich effiziente Massnahmen. Dies trifft beispielsweise auf die Massnahme HN17 zu, wie sich aus der folgenden Abbildung (im Vergleich zu Abbildung 6-4) ablesen lässt.

Abbildung 6-6: Lärmarme Beläge: Effizienz der Fallbeispiele mit lärmarmen Belägen bei Kosten von 36 CHF/m² und Bautiefe = 4



6.4 Einfluss der (neuen) Annahmen auf der Kostenseite

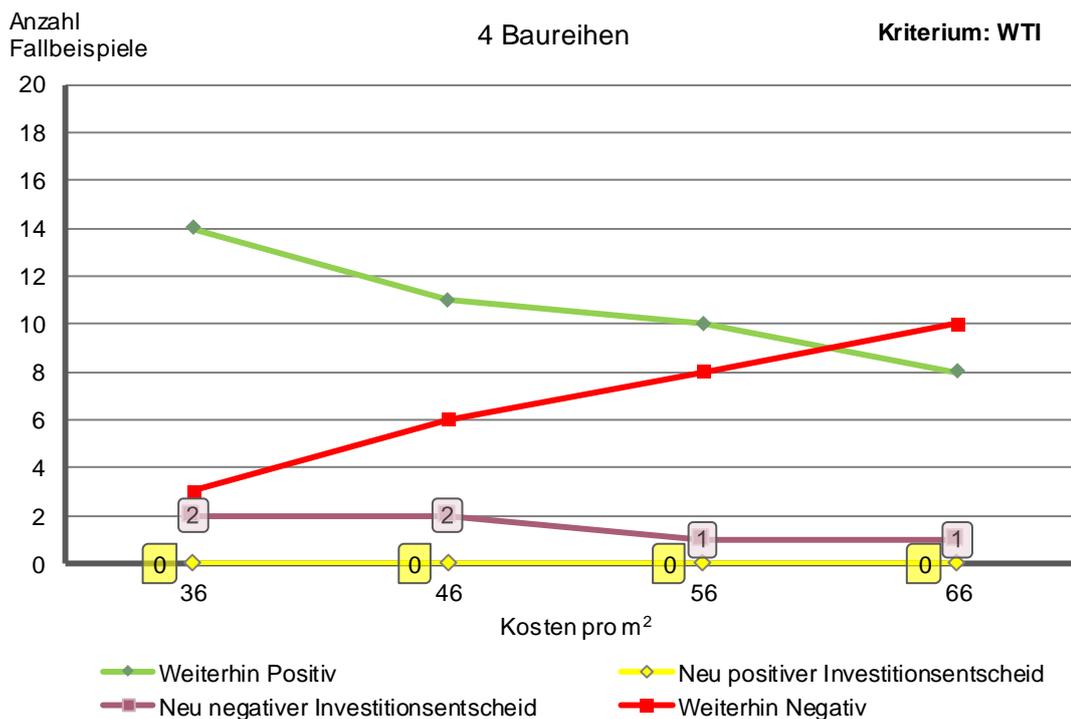
Nachfolgend wird gezeigt, wie sich die Ergebnisse verändern, wenn zusätzlich zur Änderung auf der Nutzenseite auch die Annahmen auf der Kostenseite angepasst werden.

6.4.1 Einfluss der Kosten des lärmarmen Belags

Im Berechnungstool WTI sind die Quadratmeterkosten für einen Belag SDA8 auf 36 CHF / m² angegeben. Nachfolgend wird gezeigt, wie sich die Entscheide aufgrund des WTI verändern, wenn höhere Quadratmeterkosten angenommen werden. Wir haben ausgehend von der Umfrage unter den Kantonen vier Werte (36 CHF/m², 46 CHF/m², 56 CHF/m² und 66 CHF/m²) untersucht. Alle übrigen Annahmen (Lebensdauer und Kapitalzinssatz) bleiben unverändert. Die folgenden Abbildungen zeigen die Veränderung der Investitionsentscheide auf Grundlage des WTI, wenn von 4 Baureihen ausgegangen wird.

Wie zu erwarten ist, sinkt die Anzahl realisierter Massnahmen mit steigenden Kosten deutlich (vgl. dazu den Verlauf der roten bzw. grünen Kurve). Der Wechsel in der Berechnungsmethodik zu Nutzen führt demgegenüber nur bei 5% bis 10% der Fallbeispiele zu einer Änderung.

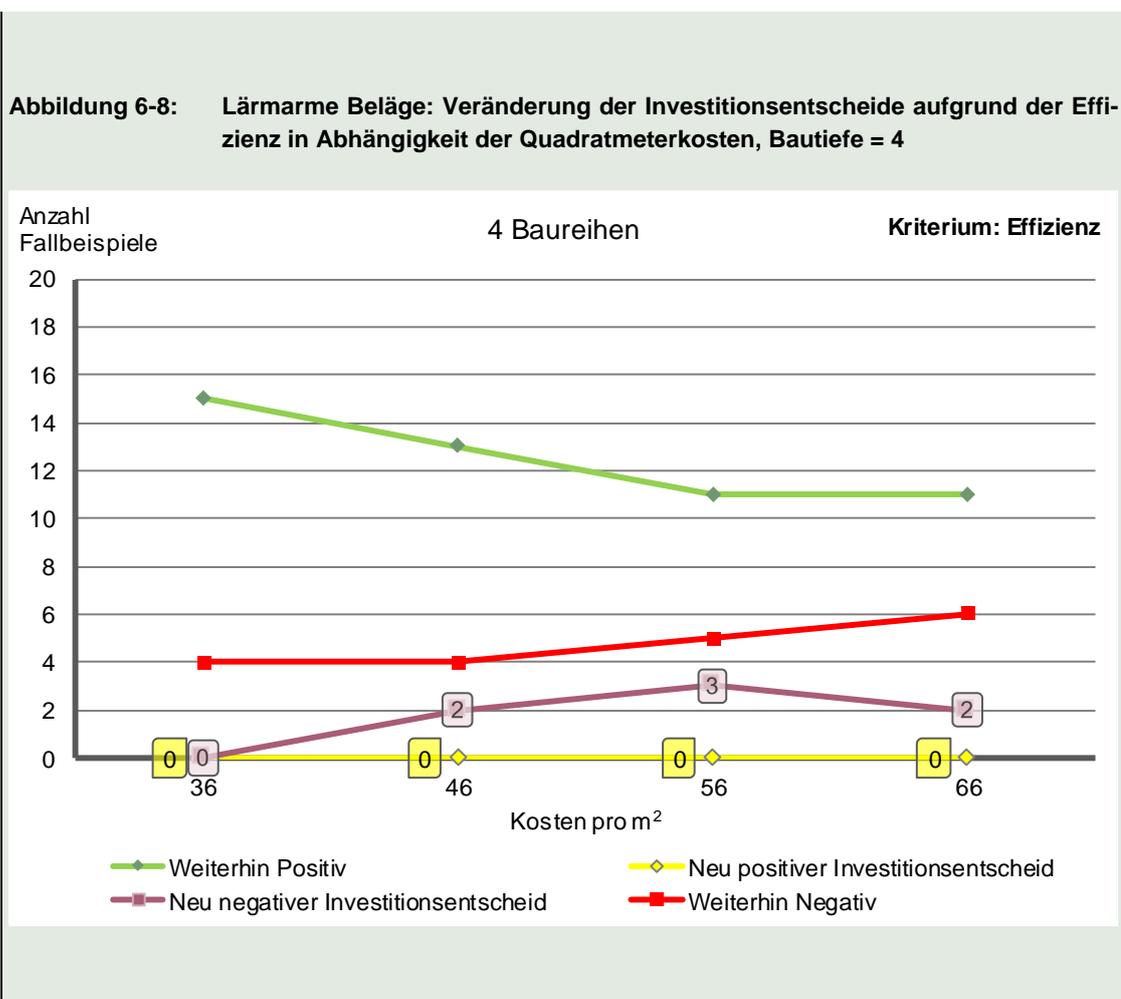
Abbildung 6-7: Lärmarme Beläge: Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI in Abhängigkeit der Quadratmeterkosten, Bautiefe = 4



Exkurs: Effizienz als Entscheidungskriterium

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund der Effizienz, wenn von einer Bautiefe von 4 ausgegangen wird und die Kosten variiert werden.

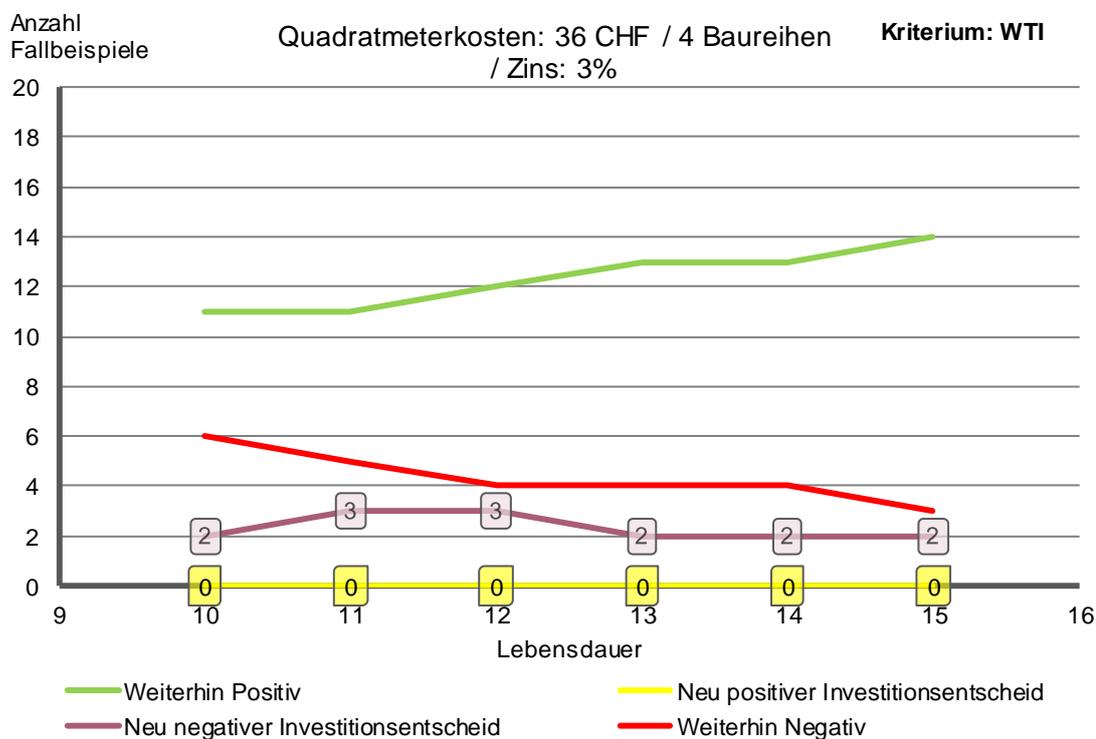
Der Vergleich mit der Entscheidungsfindung über den WTI zeigt anhand der grünen Linie, dass bei Berücksichtigung der Effizienz bei hohen Baukosten mehr Fallbeispiele realisiert werden, als wenn der WTI berechnet wird. Dies liegt an der teilweise geringen Effektivität der lärmarmen Beläge auf Nationalstrassen.



6.4.2 Einfluss der Lebensdauer

Im WTI-Tool ist für lärmarme Beläge eine Lebensdauer von 15 Jahren angegeben. Die Umfrage zu den Kosten weist auf teilweise deutlich kürzere Lebensdauern von 10 Jahren hin. Eine dahingehende Änderung der Lebensdauer würde dazu führen, dass zusätzliche Fallbeispiele nicht mehr realisiert würden. Dies zeigt die folgende Abbildung.

Abbildung 6-9: Lärmarme Beläge: Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI, Bautiefe = 4

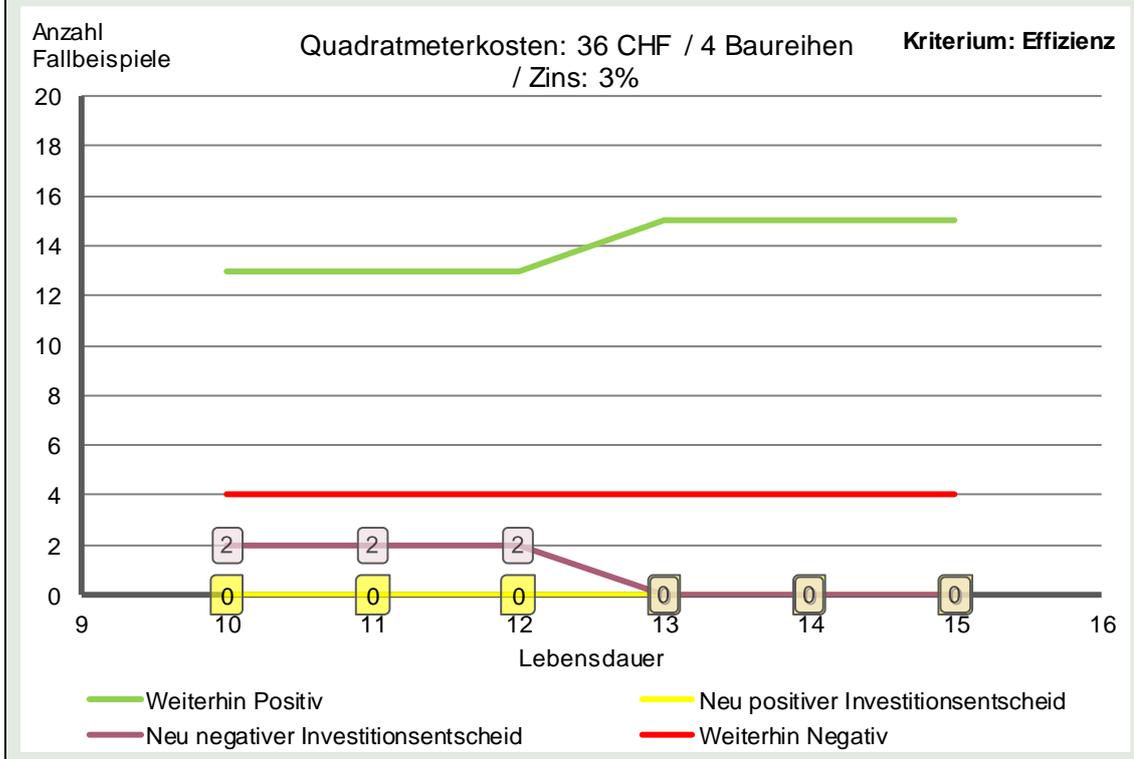


Auch bei Variation der Lebensdauer zeigt sich, dass das Entscheidungskriterium WTI zu mehr Änderungen führt, als wenn nur die Effizienz betrachtet wird (siehe nachfolgender Exkurs). Wiederum liegt dies an der relativ geringen Effektivität der lärmarmen Beläge, insbesondere auf Nationalstrassen. Auf Kantonsstrassen führt die Änderung der Lebensdauer kaum zu Veränderungen bei der Investitionsentscheidung, weil sowohl die Effizienz als auch die Effektivität hoch sind.

Exkurs: Effizienz als Entscheidungskriterium

Die folgende Abbildung berücksichtigt die Effizienz als Entscheidungskriterium, ob eine Lärmschutzwand realisiert werden soll oder nicht. Die Veränderung der Investitionsentscheide ist für eine Bautiefe von 4 angegeben.

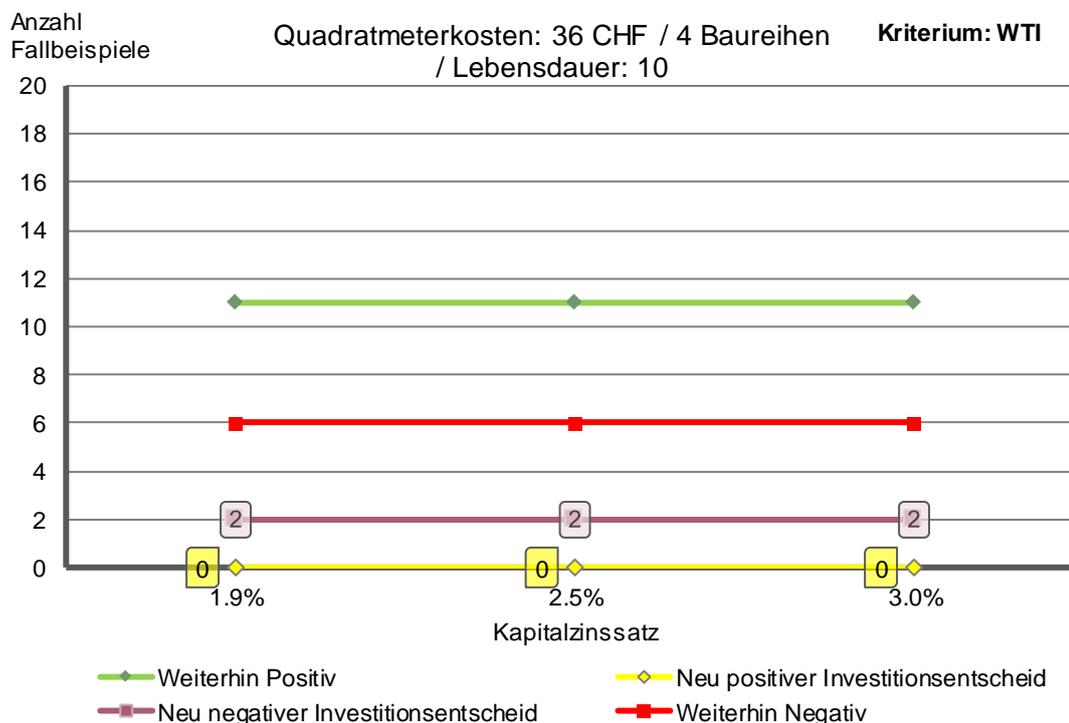
Abbildung 6-10: Lärmarme Beläge: Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund der Effizienz, Bautiefe = 4



6.4.3 Einfluss des Kapitalzinssatzes

Die Änderung des Kapitalzinssatzes von 3.0% auf 1.9% führt nicht zu einer Änderung der Investitionsentscheide. Insgesamt wird die Effizienz der Fallbeispiele zwar erhöht. Diese reicht aber nicht aus, um die Investitionsentscheide zu verändern. Nachfolgend wird dies anhand des Entscheidungskriteriums WTI für 4 Baureihen gezeigt. Dieselbe Erkenntnis ergibt sich bei voller Bautiefe.

Abbildung 6-11: Lärmarme Beläge: Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI abhängig vom Kapitalzinssatz



6.5 Fazit zu lärmarmen Belägen

Die untersuchten Fallbeispiele mit lärmarmen **Belägen** (SDA4; -3dB) auf **Kantonsstrassen** weisen allesamt sehr gute Effizienz- und Effektivitätswerte auf, sowohl bei der alten als auch bei der neuen Methodik. Auf Kantonsstrassen ist der Einfluss der neuen Methodik daher sehr klein.

Auf **Nationalstrassen** weisen die Fallbeispiele mit lockerer Besiedlung mit alter und neuer Methodik eine ungenügende Effizienz auf. Bei nicht-dichter und dichter Besiedlung sowie im Zentrum ist die Effizienz mit alter und neuer Methodik hervorragend, selbst wenn man von deutlich höheren Kosten und tieferer Lebensdauer ausgeht. Nur bei einer zu geringen Bautiefe (< 6) wären auch die Fallbeispiele bei nicht-dichter Besiedlung nicht mehr effizient.

Die lärmarmen Beläge auf Nationalstrassen (SDA8; -1dB) weisen aber eine eher geringe Effektivität auf. Dies führt mit der Anpassung der Nutzenberechnung in der neuen Methode dazu, dass einige nicht mehr realisiert werden, auch wenn sie nach wie vor eine Effizienz von deutlich über eins aufweisen. Mit dem Einsatz eines wirksameren Belags (z.B. PA-Belag; -3dB) könnte die Effektivität der Fallbeispiele auf Nationalstrassen deutlich gesteigert werden.

Die Anpassung des Kapitalzinssatzes von 3.0% auf 1.9% führt nicht zu einer Änderung der Investitionsentscheide für die untersuchten Fallbeispiele. Die Änderung des Zinssatzes drängt sich vielmehr aufgrund des aktuellen Zinsumfelds auf.

Eine grosse Wirkung hat die Annahme einer kürzeren Lebensdauer. Wird eine kürzere Lebensdauer angenommen, erhöht sich die Zahl der neu negativen Entscheide relativ stark. Wird die Lebensdauer auf 10 Jahre reduziert, so sind neu fünf von 19 Fallbeispielen mit der neuen Methodik nicht mehr verhältnismässig, das sind drei mehr als bei einer Lebensdauer von 15 Jahren. Betroffen sind Fallbeispiele auf Nationalstrassen (mit Belagstyp SDA8; -1 dB) in lockerer oder nicht-dichter Besiedlung, die eine geringe Effektivität aufweisen. Bei diesen Beispielen tritt auch das Phänomen zu Tage, dass lärmarme Beläge trotz einer guten Effizienz (deutlich über 1.0) durch die multiplikative Verknüpfung mit der Effektivität verhindert werden.

7 Diskussion methodischer Zusatzfragen

Im Zusammenhang mit der geprüften Revision des WTI haben sich seitens BAFU zusätzliche methodische Fragen ergeben, die nachfolgend beantwortet werden. Der Aufbau des Kapitels orientiert sich an den Fragen:

- Abschnitt 7.1 beschreibt, welche verschiedenen **Methoden zur Bewertung von verkehrsbedingten Lärmkosten** verwendet werden und welche Methoden zur Bewertung von Massnahmen in anderen Themenbereichen zum Einsatz kommen.
- Abschnitt 7.2 beantwortet die Frage, ob die **DALY** («Disability Adjusted Life Years) in die Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen einfließen sollen.
- Abschnitt 7.3 präsentiert eine Möglichkeit, wie die Effektivität berücksichtigt werden könnte, ohne dass es zum unerwünschten Ergebnis kommen kann, dass eine effiziente Massnahme durch eine allenfalls **geringe Effektivität verhindert** wird. In der aktuellen multiplikativen Verknüpfung zwischen Effizienz und Effektivität tritt dieses Problem in den Fallbeispielen insbesondere bei lärmarmen Belägen auf.
- Abschnitt 7.4 thematisiert den **Umgang mit Geschäftsliegenschaften** sowie deren Bedeutung in der neuen Methodik.
- Abschnitt 7.5 zeigt den Umgang mit der **Erhöhung einer Lärmschutzwand**, die vor dem Ablauf der Lebensdauer der bestehenden Wand vorgenommen wird.
- Abschnitt 7.6 zeigt Überlegungen zum **Bearbeitungsaufwand**, der zur Anwendung des WTI mit der neuen Methodik entsteht.
- Abschnitt 7.7 zeigt die Möglichkeiten für ein **alternatives «Effektivitätsmass»**, das die Menschen in den Fokus rückt und beispielsweise auch die absolute Höhe der Grenzwertüberschreitung verstärkt berücksichtigt.

7.1 Methoden zur Bewertung lärmbedingter Verkehrskosten

Frage: Welche Methoden zur Bewertung von Kosten des Verkehrslärms gibt es? Worin unterscheiden sie sich von der dem WTI zugrundeliegenden Methodik?

7.1.1 Kurzbeschreibung der Methoden

Von verschiedenen Bundesämtern werden im Rahmen ihrer Fachbereiche Berechnungen zu den Kosten des Verkehrslärms durchgeführt. Ziel der nachstehenden Zusammenstellung ist es, einen kurzen Überblick über die jeweils angewendete Berechnungsmethodik sowie die verwendeten Datengrundlagen zu geben:

- Die **VSS-Norm «Externe Kosten» in der Reihe «Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr»** basiert auf der Berechnung in Ecoplan / Infrac (2014), Externe Kosten des Verkehrs (Stand 2010)⁶⁹ im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung (ARE). Sie soll noch im Jahr 2018 auf Grundlage von Ecoplan / Infrac (2018), Aktualisierung der externen Kosten des Verkehrs 2015 auf den neuesten Stand gebracht werden.
- Die Methoden **NISTRA und NIBA** beruhen im Wesentlichen auf Kostensätzen, die aus den ARE-Studie 2014 (Stand 2010) zu den externen Kosten des Verkehrs (siehe oben) hergeleitet wurden. NISTRA verwendet dafür die beiden Indikatoren U121 «lärmbelastete Personen» (KNA) und U122 «lärmbelastete Flächen» (GWUP)⁷⁰. NIBA verwendet die beiden Indikatoren 2.1 «Lärmbelastung im Siedlungsgebiet» (KNA) und 2.2 «Lärm in Erholungsgebieten» (deskriptiv).
Zur vereinfachten Anwendung wurden die Kostensätze auf die Verkehrs- / und Transportleistung der verschiedenen Verkehrsträger umgelegt. Die Studien zur Beurteilung von Geschwindigkeitsreduktionen auf Autobahnen im Auftrag des ASTRA (2015) beruhen im Grundsatz auf NISTRA.
- Der früher eingesetzte **«KNI» der SBB** (Kosten-Nutzen-Index) verzichtet auf eine Monetarisierung der Nutzenseite und stützt sich stattdessen auf die Wirkung der Lärmschutzmassnahme (erreichte Lärmreduktion in dB(A) und betroffene Personen).

Alle betrachteten Methoden mit Monetarisierung der Kosten bewerten nur Auswirkungen des Lärms am Wohnort. Folgende Bereiche werden in den Methoden dementsprechend nicht berücksichtigt:

- Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten
- Auswirkungen des Lärms am Arbeitsplatz (Beeinträchtigung der Lebensqualität, Produktionsausfälle durch verminderte Leistungsfähigkeit des Personals, Kosten von Schallschutzmassnahmen)
- Verluste durch Auszonung oder Nicht-Einzonung von Grundstücken in der Raumplanung sowie auch Auswirkungen auf nicht überbautes Bauland
- Kosten von Schallschutzmassnahmen an Wohngebäuden (Schallschutzfenster)

Eine detaillierte Zusammenstellung der untersuchten Methoden befindet sich in Anhang D des Berichts.

⁶⁹ Ecoplan / Infrac (2014), Externe Kosten des Verkehrs 2010, Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Zürich / Bern.

⁷⁰ GWUP: Indikatoren mit «Gesellschafts-, Wirtschafts- und Umweltpunkten». Diese Indikatoren der Methodik NISTRA werden zwar mit Punkten bewertet, aber nicht monetarisiert.

7.1.2 Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Methoden

Die Hauptunterschiede zwischen den betrachteten Methoden und dem WTI liegen in der zu beantwortenden Fragestellung und im Jahr der Aktualisierung der Grundlagen:

- **Beantwortete Frage / Zweck:** Beim WTI und beim KNI geht es ganz konkret um die Beurteilung einer Lärmschutzmassnahme. Der KNI war dabei ganz spezifisch auf Lärmschutzmassnahmen an Eisenbahnschienen zugeschnitten.
NIBA und NISTRA zielen darauf ab, Verkehrsinfrastrukturvorhaben möglichst ganzheitlich zu beurteilen. Die Lärmthematik ist dabei nur einer von vielen Aspekten. Die Methoden haben deshalb einen wesentlich breiteren Fokus und beziehen einen breiten Strauss an Indikatoren und Auswirkungen mit ein.
Die VSS-Normen sind als Grundlagen für umfassende Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr gedacht und weisen dafür insbesondere Kostensätze pro gefahrenen Kilometer aus.
- **Stand der Aktualisierung:** Die Berechnung des WTI stützt sich heute zur Feststellung von verkehrslärmbedingten Kosten auf die in der Lärmschutzverordnung festgehaltenen Grenzwerte (1986). Die neuesten Methoden zur Berechnung von verkehrslärmbedingten externen Kosten (ARE 2014 und 2018) stützen sich hingegen auf die aktuellsten wissenschaftlichen Erkenntnisse, die im Vergleich zu den Grenzwerten zu teilweise tieferen Schwellenwerten kommen, ab denen lärmbedingte Schäden (volkswirtschaftliche Kosten) auftreten (vgl. hierzu auch den Exkurs in Abschnitt 3.2). Die neuesten Erkenntnisse aus der Grundlagenstudie (ARE 2018) sind dabei noch nicht in die VSS-Norm überführt worden (Aktueller Stand 2010, Aktualisierung erfolgt per Ende 2018). Die Methoden NISTRA und NIBA stützen sich auf die VSS-Norm aus dem Jahr 2010.

Der KNI bot den Vorteil, dass er ohne eine Monetarisierung der Nutzen auskommt und sich deshalb dieser Diskussion um die neuesten Erkenntnisse nicht zu stellen brauchte. Durch die Begrenzung auf eine Lärmquelle (Schiene) und die Anwendung durch wenige Akteure (SBB, BLS etc.) mit einem jeweils breiten Portfolio und Spektrum an Projekten (ganzes Schienennetz), lässt er auch ohne Monetarisierung der Nutzenseite einen Vergleich verschiedener Projekte zu. Der WTI hingegen soll sowohl für Schienenprojekte als auch Strassenprojekte anwendbar sein und auch geeignet sein, um eine einzelne oder einige wenige zu prüfende Massnahmen einordnen und miteinander vergleichen zu können.

7.1.3 Vergleich mit anderen Methoden zur Beurteilung von Massnahmen(bündeln) ausserhalb des Verkehrsbereichs

Weitet man den Blick auf andere von Bund und Kantonen eingesetzte Beurteilungsmethoden ausserhalb des Lärm- und Verkehrsbereichs aus, so können folgende Erkenntnisse beim Vergleich mit dem WTI zusammengefasst werden:

- **PLANAT** stützt sich bei der Bewertung von Massnahmen zum Schutz von Objekten und Personen vor Naturgefahren im Prinzip ebenfalls auf eine Kosten-Nutzen-Analyse ab. Die

Beurteilung der Nutzen (bzw. der Verminderung des Risikos durch entsprechende Massnahmen) basiert auf einer generellen Bewertung des Schadenausmasses multipliziert mit der Eintrittswahrscheinlichkeit von Schadenereignissen (= Risiko). Das Mass zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit ergibt sich aus der Reduktion des Risikos, dividiert durch die entstehenden Kosten der Massnahme. In der Gesamtabwägung sind auch «weiche Faktoren» einzubeziehen (z.B. Akzeptanz, Ökologie, Widersprüche zu Raumplanungszielen oder Anliegen von Natur- und Landschaftsschutz).

Einschätzung: *Die risikobasierte Methodik zur Bewertung der Nutzenseite ist beim Lärm nicht erforderlich, da hier die Belastung bereits besteht und es sich beim Schaden nicht «um überraschende Einzelereignisse mit niedriger Wahrscheinlichkeit» handelt, sondern die lärmbedingten Schäden permanent auftreten und gut gemessen werden können.*

- Die **Verhältnismässigkeit von Massnahmen im Zusammenhang mit Schwall & Sunk**⁷¹ stützt sich auf eine in Punkten ausgedrückte Beurteilung der Zielerreichung entlang verschiedener Indikatoren («Ökologische Gesamtwirkung») und stellt diese Zielerreichungspunkte den Kosten der Massnahmen gegenüber. Bei der Gesamtbeurteilung der Massnahmen werden weitere qualitativ gewürdigte Kriterien beigezogen.

Einschätzung: *Bei Schwall & Sunk sind viele Auswirkungen auf der Nutzenseite nicht monetarisierbar, weshalb hier ein teilweise qualitatives Vorgehen zweckmässig ist. Demgegenüber gibt es beim Lärm viele wissenschaftliche Erkenntnisse, die eine monetäre Bewertung der Lärmkosten zulassen. Daher besteht kein Bedarf ausschliesslich ein nicht-monetäres Punktesystem für die Nutzen zu verwenden.*

- Das ARE stützt seine Entscheidung zur Mitfinanzierung von Massnahmen im **Agglomerationsprogramm** auf eine Gegenüberstellung von Wirksamkeit und Kosten. Die Wirksamkeit wird mit vier Wirksamkeitskriterien beurteilt (Bewertung zwischen -1 bis +3) und die Kosten werden in Kategorien eingeteilt («sehr hoch» bis «sehr tief», Schwellenwerte differenziert nach Agglomerationsgrössenklasse). Weil die beurteilten Einzelmassnahmen teil eines Programms sind, wird für das Programm eine Gesamtwirksamkeit ermittelt. Dies lässt Vergleiche zwischen verschiedenen Programmen zu, aber auch eine Überprüfung, ob die Einzelmassnahmen zusammengenommen sinnvoll sind und sich nicht widersprechen (räumliche Zielkonflikte).

Einschätzung: *Die Beurteilung der Wirksamkeitskriterien lässt sehr viel Ermessensspielraum. Die Programmpoptik ermöglicht aber eine Abstimmung der einzelnen Massnahmen und eine gemeinsame Ausrichtung auf die Oberziele (Abstimmung von Siedlung und Verkehr in Agglomerationen).*

Bei baulichen Lärmschutzmassnahmen handelt es sich demgegenüber meist um Einzelprojekte, deren Auswirkungen in der Regel gut identifiziert und isoliert gemessen werden können und für die Bewertung auch entsprechende Kostensätze zur Verfügung stehen.

- Die Methodik zur Beurteilung der «**Verhältnismässigkeit der Sanierung behindertengerechter Bushaltestellen**»⁷² - wie sie von einigen Kantonen eingesetzt wird – stützt sich auf

⁷¹ Vgl. BAFU (2017), Schwall-Sunk-Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bern.

⁷² Vgl. Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination (2017), Hindernisfreie Bushaltestellen. Arbeitshilfe für die Beurteilung der Verhältnismässigkeit. Bern.

einen Index berechnet aus Nutzenpunkten und Kosten. Die Nutzenpunkte beruhen auf verschiedenen Indikatoren, welche den Nutzen einer behindertengerechten Bushaltestelle konzeptionell erfassen und abbilden. Der Schwellenwert für den Index, ab dem eine Sanierung erfolgt, wurde unter Einbezug der relevanten Stakeholder (Kanton, Gemeinden, Behindertenorganisationen etc.) ausgehandelt.

Einschätzung: *Die Nutzenseite bei einer behindertengerechten Umgestaltung ist nicht oder nur mit grossen Schwierigkeiten monetarisierbar. Daher war man gezwungen, von einer monetären Bewertung der Nutzen abzusehen. Allerdings mit dem Nachteil, dass im Rahmen eines Werturteils festgelegt werden muss, ab welchem Indexwert ein Umbau als wirtschaftlich verhältnismässig taxiert wird. Bei Lärmschutzmassnahmen lassen sich die Kosten und Nutzen relativ leicht monetarisieren.*

7.1.4 Fazit

Im Grundsatz setzen die verschiedenen Bundesämter (ASTRA, ARE, BAV, BAFU) und Kantone auf Beurteilungsmethoden, die wissenschaftlich gut abgestützt sind. Die eingesetzten Methoden zur Beurteilung der verkehrslärmbedingten Kosten unterscheidet sich heute, weil unterschiedliche Aktualisierungsstände der Grundlagen verwendet werden und unterschiedliche Einsatzzwecke vorgesehen sind.

Im Grundsatz ist eine Verwendung der aktuellsten Grundlagen und Methoden anzustreben. Beim Festlegen des Aktualisierungsrhythmus sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Dem Hauptanliegen des jeweiligen Instruments ist Rechnung zu tragen. Stehen Lärmkosten im Vordergrund (WTI), so empfiehlt sich eine umgehende Übernahme neuer Erkenntnisse zu den lärmbedingten Kosten. Stehen hingegen viele verschiedene Kosten und Nutzen (wie bei NIBA oder NISTRA) einander gleichwertig gegenüber, muss über die Übernahme neuester Erkenntnisse im Einzelfall entschieden werden. Die Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen kann davon profitieren, dass laufend neue wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen, die eine Monetarisierung der Nutzenseite überhaupt möglich machen.
- Die Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Massnahmen z.B. mittels des WTI muss auch vor Gericht eingeklagt werden können. Dafür ist eine gewisse Stabilität in der Definition, den Beurteilungskriterien und deren Berechnung notwendig. Ändern sich die Grundlagen ständig, kann auch das Vertrauen in die Methode leiden.

Um den beiden gegenläufigen Aspekten Rechnung zu tragen ist es denkbar, feste Zeitperioden für eine Überprüfung der Methode zu definieren. Angesichts des raschen wissenschaftlichen Fortschritts empfehlen wir, einen Aktualisierungsrhythmus von 10 Jahren vorzusehen.

7.2 Berücksichtigung der DALY

Frage: Eignen sich die DALY als Kennzahl zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen? Welche Möglichkeiten bestehen und welche Vor- und Nachteile weisen sie auf?

Seitens BAFU wurde der Wunsch geäussert, die Berücksichtigung der DALY bei der Berechnung des WTI oder bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen zu prüfen. Für einen allfälligen Einbezug der DALY bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Berechnung der Reduktion der DALY als Mass für die **Effektivität** (Ersatz für bestehendes Wirkungsmass [$\Delta\%$ Flächen unter Grenzwerte gemäss LSV] oder Ergänzung zu bestehendem Wirkungsmass)
- Berechnung der Reduktion der DALY und Monetarisierung als **Mass für den Nutzen** (Ersatz für bestehendes Nutzenmass (Δ Mietzinsverluste + evtl. Δ Gesundheitskosten) oder Ergänzung zu bestehenden Nutzenmassen)
- Berechnung der Reduktion der DALY als **vierte Einflussgrösse** (neben Wirksamkeit, Nutzen und Kosten) und Integration in die Berechnungsformel
- Berechnung der Reduktion der DALY als **Zusatzinformation** (bei «knappen Entscheidungen»)

Bevor auf die einzelnen Möglichkeiten eingegangen wird, gibt der nachfolgende Abschnitt Auskunft über die Methodik zur Berechnung der DALY.

7.2.1 Berechnung der DALY

Die WHO hat 2011 in der Studie «Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe» eine Methodik entwickelt, um die Folgen des Lärms auf die Gesundheit zu quantifizieren. Als Ergebnis werden sogenannte DALY (disability adjusted life years) ausgewiesen. DALY sind eine Masszahl für die Beeinträchtigung durch eine Krankheit oder Verletzung im Vergleich zu einem normalen beschwerdefreien Leben. Ein DALY entspricht einem verlorenen Lebensjahr bei einwandfreier Gesundheit.

Die Methodik kann wie folgt kurz zusammengefasst werden:

- Aus der Lärmbelastung der Bevölkerung wird mit Hilfe von Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, Krankheitshäufigkeiten und Sterbewahrscheinlichkeiten berechnet, wie viele Krankheits- und Todesfälle durch den Lärm verursacht werden.
- DALYs sind die Summe aus verlorenen Lebensjahren aufgrund von frühzeitigen Todesfällen sowie dem Verlust an Lebenszeit durch Krankheit. Dabei wird Letzteres auch in verlorene Lebensjahre umgerechnet, indem Lebensjahre mit einer Krankheit anhand eines disability weights (DW) in anteilmässige Lebensjahre ohne Krankheit umgerechnet werden. Die Höhe des DWs ist abhängig von der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch die Krankheit (je gravierender die Beeinträchtigungen, desto geringer ist das DW).

Die Berechnung der DALY erfolgt für verschiedene Krankheitsbilder. Diese sind in der folgenden Abbildung in der zweiten Spalte dargestellt. Die Spalten drei und vier zeigen im Vergleich dazu, welche lärmbedingten Beeinträchtigungen aus der DALY-Berechnung entweder bei der

Ermittlung der lärmbedingten Gesundheitskosten oder bei der Berechnung der Mietzinsverluste berücksichtigt wurden.

Abbildung 7-1: Berücksichtigte Krankheitsbilder und Folgen des Verkehrslärms

	BAFU-Studie zu lärmbedingten DALY ⁷³	ARE-Studie zu den externen Kosten des Verkehrs	ARE-Studie zu den externen Kosten des Verkehrs
	DALY	Gesundheitskosten	Mietzinsverluste
Herzinfarkt / ischämische Herzkrankheiten	X	X	
Lernschwierigkeiten bei Kindern	X (an Schulen ermittelt)		
Schlafstörungen	X		X
Tinnitus (Ohrensausen)	(Verkehr ist nicht Ursache)		
Belästigung	X		X
Bluthochdruck		X	

Quellen: DALY: BAFU (2014) Berechnung der DALY für die Schweiz; Verkehrslärmbedingte Gesundheitskosten und Mietzinsverluste: ARE (2015), Externe Kosten des Verkehrs

Nachfolgend wird auf die einzelnen Möglichkeiten zur Berücksichtigung der DALY eingegangen.

7.2.2 Verwendungsmöglichkeiten der DALY

a) Verwendung als Mass für den Nutzen

Von einer Verwendung der DALY für die Berechnung des Nutzens von Lärmschutzmassnahmen raten wir aus den folgenden Gründen ab:

- Bereits bei der Berechnung der verkehrsbedingten Lärmkosten⁷⁴ im Rahmen der ARE-Studie zu den externen Kosten des Verkehrs (Aktualisierung 2010) wurde die Herleitung über die DALY nicht empfohlen. Überschlagsrechnungen für 2010 haben gezeigt, dass «das über DALY und VLYL berechnete Ergebnis [für Kosten durch Belästigung und Schlafstörungen] gut doppelt so hoch liegt wie das Ergebnis über die Abnahme der Wohnungspreise. Das Ergebnis würde somit [für die Mietzinsverluste] nicht dem at least Ansatz entsprechen.»

⁷³ Vgl. BAFU (2014), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz. Bern und Altdorf.

⁷⁴ Vgl. Ecoplan / Infras (2014), Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten.

Die DALY weisen zudem sehr grosse Bandbreiten in den Ergebnissen auf (vgl. Abschnitt b))⁷⁵

- Würden neu die in Geldeinheiten bewerteten DALY zur Berechnung des Nutzens einbezogen, müsste auf den Einbezug der bisher verwendeten Mietzinsverluste verzichtet werden, weil es sonst zu Doppelzählungen kommen würde. Dies ist aus verschiedenen Gründen nicht zu empfehlen (vgl. hierzu die Ausführungen zum Einbezug der DALY in die Berechnungsformel zum WTI in Abschnitt c)).

b) Verwendung als Mass für die Effektivität

Die Effektivität wird beim WTI heute über die Bruttogeschossflächen bestimmt, welche unter oder über den gesetzlich bestimmten Grenzwerten der Lärmschutzverordnung liegen. Das Mass bezieht sich damit auf die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte differenziert nach Empfindlichkeitsstufe und misst die Zielerreichung bei der Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben.

Die Berechnung der DALY stützt sich hingegen auf Schwellenwerte, die deutlich unterhalb oder oberhalb der gesetzlichen Lärmgrenzwerte liegen und auch nicht nach Empfindlichkeitsstufen differenziert sind. Die Kennzahl zur Effektivität würde sich somit von der Zielerreichung zur Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte lösen. Die folgende Abbildung zeigt die verwendeten Werte für die Lärmschwelle, ab der die Krankheitsbilder auftreten.

Abbildung 7-2: Krankheitsbilder, Lärmdaten und Lärmschwellenwerte gemäss WHO im Vergleich zu Grenzwerten gemäss Lärmschutzverordnung

Krankheitsbild	Verwendete Lärmdaten	Schwellenwerte für Lärm (gemäss WHO)	Grenzwerte gemäss LSV (IGW)
Herzinfarkt / ischämische Herzkrankheiten	Tageslärm $L_{day, 16h}$	ab 57 dB(A)	
Lernschwierigkeiten bei Kindern	Tages- und Nachtlärm L_{dn}	ab 50 dB(A)	Für Nachtlärm: ES I: 40 dB(A) ES II: 45 dB(A)
Schlafstörungen	Nachtlärm L_{night}	ab 40 dB(A)	ES III: 50 dB(A)
Tinnitus (Ohrensausen)	Grobe Abschätzung ohne direkte Lärmdaten	ab 70-75 dB(A)	ES IV: 55 dB(A)
Belästigung	Tages-, Abend- und Nachtlärm L_{den} (Alternative über L_{dn})	ab 42 dB(A)	

Quelle: Spalten 2 und 3: BAFU (2014), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit.; Spalte 4: Lärmschutzverordnung LSV

⁷⁵ Bei der Aktualisierung der externen Kosten des Verkehrs für das Jahr 2015 (Ecoplan / Infras 2018) wurde auch der VOSL («Value of statistical life») neu ermittelt. Der VOSL dient als Grundlage zur Berechnung des VLYL («Value of life years lost»). Neu liegt der Wert deutlich höherer als noch in der Studie zum Jahr 2010 angenommen. Dadurch würde die Differenz zwischen der Berechnung über Mietzinsverluste und der Ermittlung von Belästigung und Schlafstörung über DALY (ergänzt mit VLYL) noch einmal deutlich grösser.

c) Einbezug in die Berechnungsformel des WTI

Bei einem Einbezug der DALY in die Berechnungsformel des WTI müssten andere Elemente gestrichen werden, um Doppelzählungen zu vermeiden. Um einen solchen Eingriff zu rechtfertigen, müssen die DALY-Berechnungen «besser» sein als die anderen diskutierten bzw. bestehenden Methoden:

- **Verlässlichkeit:** Die Berechnung der DALY weist insbesondere bei der Belästigung und bei den Schlafstörungen (die rund 80% der DALY in der Schweiz begründen) grosse Bandbreiten auf, was die Unsicherheiten aufzeigt. Beispiel: Die auf Belästigung beruhenden verlorenen DALY für alle Verkehrsträger variieren in der Schweiz zwischen 8'356 und 100'273 DALY.⁷⁶ Im Vergleich hierzu weisen die aktuellen Erkenntnisse in der Schweiz zum Zusammenhang zwischen Lärm und Mietzinsverlusten (als Indikator für Belästigung und Schlafstörungen) wesentlich kleinere Bandbreiten auf.
- **Vollständigkeit:** Die vorliegenden DALY-Berechnungen vernachlässigen die durch Bluthochdruck bedingten Krankheiten aufgrund von fehlenden Grundlagen. In der Berechnung der Gesundheitskosten (Externe Kosten des Verkehrs) sind diese berücksichtigt. Zur Berechnung der DALY fliessen auch die Lernschwierigkeiten bei Kindern ein. Diese fehlen in den übrigen Betrachtungen. Dies ist vertretbar, da sie nur für einen sehr kleinen Teil der DALY verantwortlich sind.⁷⁷
- **Schweiz-spezifisch:** Die Berechnung der DALY beruht auf weltweiten Studien der WHO kombiniert mit einer spezifischen Schweizer Auswertung für die Häufigkeit der Krankheitsbilder. Auch die Berechnung der verkehrslärmbedingten Gesundheitskosten in den ARE-Studien erfolgt abgestützt auf Schweizer und weltweite Studien. Die Berechnung der Mietzinsverluste hingegen beruht vorwiegend auf Schweizer Studien zum Zusammenhang zwischen Lärm und Mietzinsverlusten⁷⁸ und ist damit besser auf die Situation in der Schweiz abgestimmt. Die Verwendung der DALY anstelle der Mietzinsverluste für Schlafstörungen und Belästigung würde dazu führen, dass auf die spezifischen Schweizer Erkenntnisse verzichtet würde.

d) Verwendung als Zusatzinformation im WTI-Tool

Grundsätzlich liegen verwendbare methodische Grundlagen zur Berechnung von DALY / Person und dB(A) vor.⁷⁹ Im Berechnungstool zum WTI könnten deshalb die DALY berechnet und auch mit den entsprechenden Bandbreiten ausgewiesen werden. Die Lärmmasse L_{DN} und L_{DEN} könnten über eine geeignete Gewichtung aus Tag- und Nachtlärm bestimmt werden.

⁷⁶ Vgl. Ecoplan (2014), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz. Bern und Altdorf.

⁷⁷ Zudem beruhen sie auf Daten zur Lärmbelastung von Schulen, die zur Berechnung des WTI in der Regel nicht zur Verfügung stehen.

⁷⁸ Eine Übersicht zu diesen Studien gibt beispielsweise. BSS / B&H (2017), Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen. S. 39.

⁷⁹ Vgl. BAFU (2014), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit Berechnung von DALY für die Schweiz. Bern.

Der zusätzliche Nutzen dieser Berechnung im Vergleich zum bestehenden Effizienz- und Effektivitätsmass erscheint uns allerdings klein, weil die DALY sehr grosse Bandbreiten aufweisen (siehe dazu Abschnitt c)). Die DALY bedürften zudem ebenfalls einer Einordnung und Gewichtung im Investitionsentscheid. Die Gefahr besteht, dass die Methodik des WTI zu komplex wird, wenn neben Effizienz, Effektivität und WTI noch ein viertes Entscheidungskriterium eingeführt wird.

7.2.3 Fazit

Aufgrund der obigen Analyse schlagen wir vor, auf die Berechnung und Verwendung der DALY im Zusammenhang mit dem WTI zu verzichten:

- Eine zusätzliche, direkte Berücksichtigung der DALY in der Berechnungsformel des WTI würde ohne Elimination einer anderen Grösse zu Doppelzählungen führen. Von einem Ersatz der bestehenden Masse auf der Nutzenseite durch die monetarisierten DALY raten wir ab, weil die Berechnung der DALY sehr grosse Bandbreiten aufweist und nicht dem «at least» Ansatz entspricht. Für die Berechnung der lärmbedingten Kosten durch Belästigung und Schlafstörung liegen mit den Mietzinsausfällen zudem spezifische Schweizer Werte vor und es müssen nicht – wie für die Umrechnung der DALYs in monetäre Grössen – internationale Studien zur Zahlungsbereitschaft verwendet werden.
- Ein viertes Entscheidungskriterium würde den Priorisierungsprozess überladen. Der WTI sowie seine Bestandteile Effektivität und Effizienz reichen für eine Entscheidungsfindung aus, insbesondere wenn neu auch die Gesundheitsnutzen (Reduktion der lärmbedingten Gesundheitskosten) einbezogen werden.

7.3 Umgang mit Geschäftsliegenschaften

Frage: Welche Bedeutung haben Geschäftsliegenschaften in der neuen Methodik zur Berechnung der Mietzinsausfälle und wie soll mit ihnen umgegangen werden?

7.3.1 Bisheriger Umgang vs. wissenschaftliche Erkenntnisse

In der bisherigen Methodik wurden die Mietzinsausfälle für Geschäftsliegenschaften nach dem gleichen Prinzip berechnet wie für Wohnliegenschaften.

In der neuen Methodik werden für Geschäftsliegenschaften keine Mietzinsverluste mehr berechnet. In der umfassenden Studie von Fahrländer & Partner (2014)⁸⁰ zum Einfluss des Lärms auf den Wert von Wohn- und Geschäftsliegenschaften konnte für Geschäftshäuser kein signifikanter Effekt nachgewiesen werden. Die Empfehlung aus ökonomischer Sicht für den Einbezug der Geschäftsliegenschaften bei der Berechnung des Nutzens liegt deshalb auf der Hand: Auf den Einbezug sollte in der neuen Methodik verzichtet werden. Dies wurde bei der Abschätzung der Auswirkungen der neuen Methodik auch bereits so umgesetzt (siehe Kapitel 4, 5 und 6).

Dennoch ist die Frage von Interesse, wie gross die Bedeutung der Geschäftsliegenschaften in den Fallbeispielen ist und welche Bedeutung sie für den Lärmschutz insgesamt innehaben. Letztlich sind Geschäftsliegenschaften gemäss Lärmschutzverordnung ebenfalls vor Lärm zu schützen, zumindest mit einem geringeren Schutzanspruch (um 5 dB(A) reduzierter Planungs- und Immissionsgrenzwert).

7.3.2 Bedeutung der Geschäftsliegenschaften in den Fallbeispielen

In den verwendeten Fallbeispielen wurden Geschäftsliegenschaften nur in «dichter» Besiedlung (D) oder in Zentrumslage (Z) berücksichtigt:

- In der dichten Besiedlung wurde entlang von Nationalstrassen und Eisenbahnen ein Anteil von 1.6% bis 4.4% an der gesamten Geschossfläche angenommen. Entlang von Kantonsstrassen wurde ein Flächenanteil von 7.4% bis 8.9% zugrunde gelegt.
- In Zentrumslage (nur Kantonsstrassen) liegt der Anteil an der Geschossfläche bei 36.7%.

In den Fallbeispielen befinden sich die Geschäftsliegenschaften nahe an der Strasse und damit direkt an der Lärmquelle. Diese Positionierung lässt sich ökonomisch auch dadurch erklären, dass nahe an der Lärmquelle der Bau von Mietwohnungen wegen der geringeren Renditeerwartung eher vermieden werden. Stattdessen werden an solchen Lagen Geschäftsliegenschaften realisiert, die nicht mit lärmbedingten Renditeabschlägen belastet sind. Sie schirmen zudem als «bauliche» Lärmschutzwand die dahinter liegenden Wohnungen vom Lärm ab. Zusätzlich sind Geschäftsliegenschaften auch auf eine gute Lage und gute Erreichbarkeit angewiesen, was die Nähe zur Lärmquelle «Verkehr» ebenfalls plausibel erscheinen lässt.

⁸⁰ Vgl. Fahrländer Partner (2014). Lärm und Renditeliegenschaften. Untersuchung des Lärmeinflusses auf Renditeliegenschaften (Wohnen, Büro, Verkauf, Gastronomie). Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU).

Würde bei den Geschäftsliegenschaften – entgegen der empirischen Evidenz – für die Berechnung des WTI trotzdem ein Mietzinsverlust in der gleichen Weise wie bei den Wohnliegenschaften ermittelt, so ergäben sich bei der Realisierung der untersuchten Massnahmen (Lärmschutzwände, lärmarme Beläge) folgende, zusätzlichen Nutzenpotenziale:

- In dichter Besiedlung würde das Potenzial entlang von Kantonsstrassen bei 3% bis 7% liegen, entlang der Eisenbahn bei 10% bis 23% und entlang von Nationalstrassen bei 11% bis 18%.
- In Zentrumslagen würde sich das zusätzliche Nutzenpotenzial auf 50% (N19) bis 80% (E13)⁸¹ belaufen. Der Grund für die hohen Nutzenzuwächse in Zentrumslagen liegt einerseits am vergleichsweise hohen Flächenanteil der Geschäftsliegenschaften an der gesamten, im Perimeter betrachteten Geschossfläche. Andererseits sind die geschäftlich genutzten Geschossflächen in den Fallbeispielen meist im Erdgeschoss (Etage 0) untergebracht und liegen damit nahe an der Lärmquelle. Das unterste Stockwerk profitiert am stärksten von einer Lärmschutzwand oder einem lärmarmen Belag.

7.3.3 Fazit

Bei der neuen Methodik zur Berechnung des WTI werden für die Ermittlung der **Effizienz** bei den Geschäftsliegenschaften keine Mietzinsverluste mehr berücksichtigt. Dies entspricht den Erkenntnissen aus der Studie der ZKB, in welcher für diesen Typ von Liegenschaften kein Einfluss der Lärmimmissionen auf den Mietzinsertrag nachgewiesen werden konnte.

Jedoch werden für die Ermittlung der **Effektivität** die Geschäftsliegenschaften weiterhin wie bisher berücksichtigt. Geschäfte suchen insbesondere die Nähe zum Verkehr und befinden sich meist in den unteren Etagen. Sie profitieren stark von Lärmschutzmassnahmen, was bei den Berechnungen auch zu einer vergleichsweise hohen Effektivität führt. Dies ist im Sinne der WTI-Konzeption richtig, weil aus Sicht des Lärmschutzes die Geschäftsliegenschaften ebenfalls vor Lärm zu schützen sind.

Eine weitergehende Korrektur bei der Ermittlung der Effizienz bzw. des Nutzens von Lärmschutzmassnahmen bei Geschäftsliegenschaften können wir aus den erwähnten Überlegungen nicht empfehlen.

Exkurs: Nutzen von Lärmschutzmassnahmen bei Geschäftsliegenschaften

Wie erwähnt wird in der neuen Methodik bei Geschäftsliegenschaften für die Reduktion der Lärmbelastung durch Lärmschutzmassnahmen kein monetärer Wert berücksichtigt.

Besteht entgegen unserer Empfehlung trotzdem die Ansicht, dass die Lärmreduktion auch bei Geschäftsliegenschaften mit einem monetären Wert zu versehen ist, dann würde sich wohl ein Vorgehen wie bei der bisherigen Methodik anbieten. Es wäre also ebenfalls von einem durchschnittlichen Mietzins pro m² Geschossfläche und einem noch festzulegenden

⁸¹ Beim Fallbeispiel K19 (Effektivität 0%) handelt es sich mit 130% Nutzenpotenzial um einen Ausreisser.

Mietzinsabschlag pro dB(A) auszugehen. Diese Werte wären mit der erzielten Lärmreduktion zu multiplizieren, um die angestrebten Nutzenwerte zu erhalten.⁸²

Auf den Vorschlag von konkreten Zahlenwerten verzichten wir, da wir wie erwähnt dieses Vorgehen nicht empfehlen.

7.4 Berücksichtigung der Effektivität ohne unerwünschte Auswirkungen

Frage: Wie lässt sich sicherstellen, dass Projekte mit einem Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser 1 nicht durch eine relativ geringe Effektivität verhindert werden? Wie können andererseits sehr wirksame Projekte ermöglicht werden, auch wenn sie eine relativ geringe Effizienz aufweisen?

7.4.1 Problem der heutigen, multiplikativen Verknüpfung von Effizienz und Effektivität

Wie bereits erläutert wird bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen mit dem WTI nicht nur die Effizienz⁸³, sondern auch die Effektivität⁸⁴ berücksichtigt. Die Grundidee dahinter ist der Wunsch, dass Massnahmen bei hoher Effektivität auch dann realisiert werden, wenn sie aus rein wirtschaftlicher Sicht abzulehnen wären. Mit der Berücksichtigung der Effektivität soll insbesondere dem gesetzlichen Auftrag des Lärmschutzes möglichst Rechnung getragen werden. Dadurch lässt sich auch die Realisierung von rein volkswirtschaftlich nicht-effizienten Massnahmen begründen.

In der aktuellen Ausgestaltung des WTI erfolgt die Berücksichtigung der Effektivität in der Form einer multiplikativen Verknüpfung ($WTI = \frac{\text{Effizienz} \times \text{Effektivität}}{25}$) und der Festlegung, dass Massnahmen mit einem WTI ≥ 1.0 als wirtschaftlich verhältnismässig gelten.

Die getroffenen Festlegungen haben wie gewünscht zur Folge, dass bei einer Effektivität von 100% (oder z.B. 50%) noch Massnahmen realisiert werden, die mit einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0.25 (bzw. 0.5) weit unter den volkswirtschaftlichen Anforderungen in einer klassischen Kosten-Nutzen-Analyse liegen.

Die gewählte multiplikative Verknüpfung der Effektivität mit der Effizienz hat aber auch – den nach unserer Ansicht – unerwünschten Effekt, dass Massnahmen mit einer vergleichsweise geringen Effektivität (z.B. 20%) verhindert werden, selbst wenn sie aus ökonomischer Sicht mit

⁸² Da die Abstützung auf ökonomische Grundlagen fehlt, könnte zusätzlich eine anteilmässige Korrektur des Werts nach unten einer gewissen «Zufälligkeit» dieses Vorgehens Rechnung tragen.

⁸³ Die Effizienz wird dabei im WTI gemäss der klassischen ökonomischen Beurteilung von Massnahmen in Form des Nutzen-Kosten-Verhältnisses ermittelt.

⁸⁴ Die Effektivität einer Lärmschutzmassnahme wird im WTI anhand der noch verbleibenden, lärmbelasteten Fläche nach Ergreifen der Lärmschutzmassnahme im Vergleich zur ursprünglich belärmten Fläche ohne Massnahme beurteilt. Je kleiner der prozentuale Anteil der verbleibenden, lärmbelasteten Fläche ist, als umso effektiver wird die Massnahme beurteilt.

einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von 1.0 effizient wären, sie also mehr Nutzen generieren als sie Kosten verursachen.

Bei den untersuchten Fallbeispielen tritt dieser Effekt mit der neuen Methodik zur Nutzenermittlung vor allem bei lärmarmen Belägen auf Nationalstrassen auf, weil dort die Effektivität eher gering ist und die Effizienz zwar immer noch hoch, aber nicht mehr ganz so hoch wie in der bisherigen Methodik ist. In der Folge resultiert ein WTI unter 1, obwohl die Effizienz ab einer nicht-dichten Besiedlung meist immer hoch ist bzw. deutlich über 1.0 liegt.

Es sind aber auch einzelne Fallbeispiele mit Lärmschutzwänden betroffen, deren Effizienz aufgrund zusätzlicher Nutzen (die Gesundheitsnutzen in der neuen Methodik überwiegen die Reduktion der Mietzinsnutzen) neu knapp über 1.0 zu liegen kommt.

7.4.2 Lösungsvorschlag: Addition eines «Effektivitätszuschlag»

Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist es unsinnig wegen einer geringen Effektivität auf eine Lärmschutzmassnahme zu verzichten, deren Nutzen gleich oder grösser sind als die Kosten.

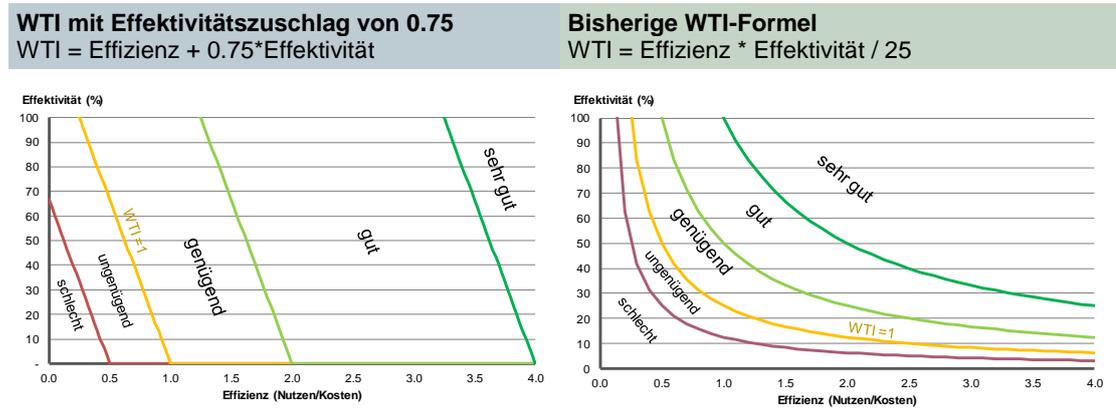
Wir empfehlen daher – unter der Annahme, dass die Effektivität weiterhin bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit berücksichtigt werden soll – auf eine multiplikative Verknüpfung zu verzichten und stattdessen einen «Effektivitätszuschlag» zu gewähren. Die angepasste Formel zur Berechnung des WTI würde also wie folgt lauten:

$$WTI = \text{Effizienz} + \text{Effektivität (in \%)} \times \text{Effektivitätszuschlag}$$

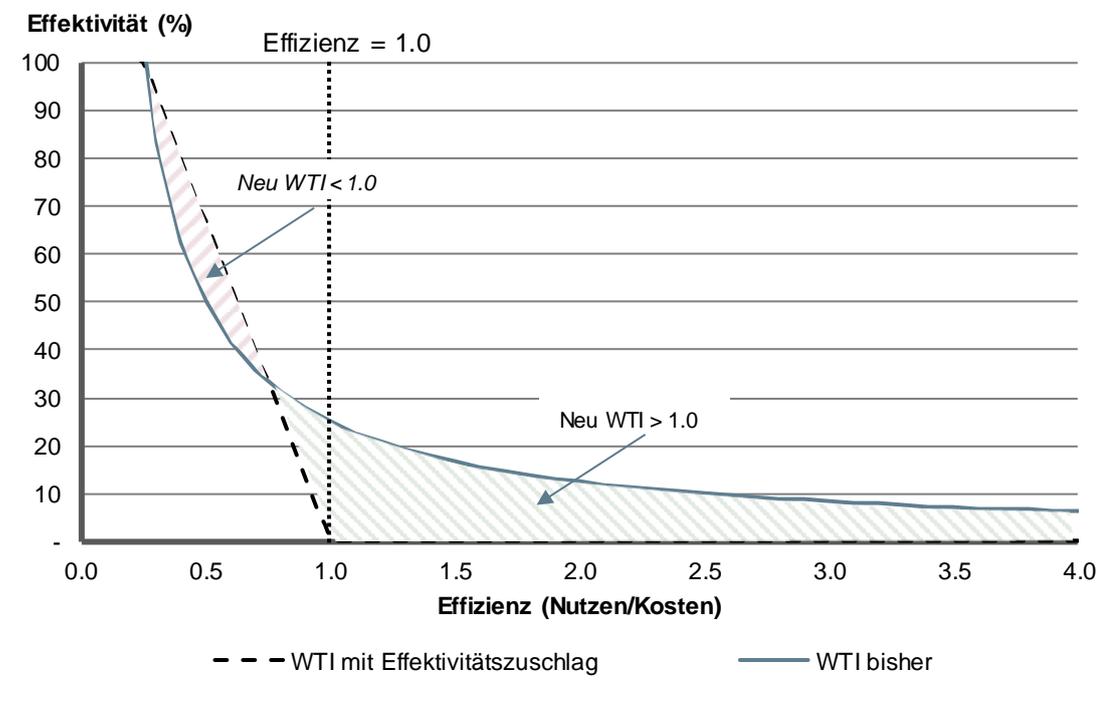
Wie hoch der Effektivitätszuschlag ausfallen soll, lässt sich wissenschaftlich nicht abschliessend beurteilen. Massgeblich ist letztlich die Überlegung, welches minimale Nutzen-Kosten-Verhältnis erforderlich sein soll, um bei maximaler Effektivität noch einen WTI von 1.0 erreichen zu können. Bisher wurde ein minimales Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0.25 verlangt. Geht man weiterhin von diesem Minimalwert aus, müsste der «Effektivitätszuschlag» in der neu vorgeschlagenen Berechnungsformel bei 0.75 liegen.

Die folgende Abbildung zeigt das neu entstehende Effektivitäts-Effizienz-Diagramm (oben) im Vergleich zum Diagramm in der aktuellen Form (unten). Mit dem Lösungsvorschlag werden die im unteren Rand befindlichen roten Bereiche im Diagramm neu grün. Massnahmen mit einer Effizienz von 1.0 sind immer «gut» und mit einer Effizienz von 2.0 sind sie immer «sehr gut» beurteilt.

Abbildung 7-3: Vergleich der Effektivitäts-Effizienz-Diagramme



Visualisierung der Veränderung bei Einführung des Effektivitätszuschlags



7.4.3 Fazit

Bisher wurde die Effektivität einer Massnahme in Form einer multiplikativen Verknüpfung mit der Effizienz berücksichtigt. Dies kann bei geringer Effektivität dazu führen, dass Lärmschutzmassen nicht realisiert werden, selbst wenn sie aus volkswirtschaftlicher Sicht rentabel wären.

Um diesen unerwünschten Effekt zu vermeiden, sollte die Effektivität in Zukunft in Form eines «Effektivitätszuschlags» und nicht mehr in einer multiplikativen Verknüpfung berücksichtigt werden. Um bei nicht rentablen Massnahmen die gleiche Förderungswirkung wie bisher erreichen zu können, müsste bei maximaler Effektivität von 100% der Zuschlag bei 0.75 liegen.

7.5 Umgang mit dem Ersatz bestehender Lärmschutzmassnahmen vor Ablauf der Lebensdauer bei gleichzeitiger Erhöhung

Frage: Wie ist bei Anwendung und Berechnung des WTI mit der Erhöhung⁸⁵ einer Lärmschutzwand umzugehen, wenn dazu eine bestehende Lärmschutzwand mit noch vergleichsweise längerer Lebensdauer ersetzt werden muss?

Für die folgenden Ausführungen gehen wir davon aus, dass ein Gesuch um Erhöhung einer bestehenden Lärmschutzwand vorliegt und diese Erhöhung aus technischen Gründen nur bei einem gleichzeitigen Ersatz der bestehenden Wand möglich ist.⁸⁶

7.5.1 Anpassung des WTI zur Berücksichtigung von unterschiedlichen Realisierungszeitpunkten

In einem solchen Fall steht man vor einer Entscheidung mit drei möglichen Szenarien:

- **Referenzfall / Ersatz bei Ablauf der Lebensdauer:** Normaler Ersatz der bestehenden Lärmschutzwand durch eine gleich hohe Wand bei Ablauf der Lebensdauer. Dies ist die bevorzugte Variante, wenn es um den «Schutz» von bereits getätigten Investitionen geht.
- **Projektfall / Erhöhung heute:** Vorzeitiger Ersatz der bestehenden Lärmschutzwand durch eine neue, höhere Lärmschutzwand. Dies ist die bevorzugte Variante, wenn es um den sofortigen Schutz der Bevölkerung vor Lärm geht.
- **Vergleichsfall / Erhöhung bei Ablauf der Lebensdauer:** Erhöhung der Lärmschutzwand erst nach Ablauf der Lebensdauer der bestehenden Lärmschutzwand. Dies ist die Variante, welche beide Anliegen aufnimmt.

Für diese drei Szenarien gilt es je eine Nutzen-Kosten-Analyse durchzuführen und danach anhand des WTI die Investitionsentscheidung zu treffen. Konkret ist wie folgt vorzugehen:

- Pro Szenario sind die Effizienz, die Effektivität und der WTI zu berechnen. Die Effizienz muss dabei die unterschiedlichen Realisierungszeitpunkte, den unterschiedlichen zeitlichen Anfall der Nutzen sowie die unterschiedlichen Kosten (Wiederbeschaffung einer bestehenden Wand vs. Neubau einer höheren Wand) berücksichtigen.
- Im Rahmen einer WTI-Betrachtung sind die Szenarien mit einem WTI < 1.0 auszuschließen.

⁸⁵ Bei einer reinen Verlängerung stellt sich diese Frage normalerweise nicht, da die Massnahme ohne (oder nur mit minimalem) Eingriff an einer bestehenden Lärmschutzwand erfolgen kann. Demgegenüber kann bei einer Erhöhung meist nicht auf eine bestehende Lärmschutzwand ein weiteres Schutzelement aufgebaut werden, sondern im Normalfall muss die bestehende Wand durch eine neue, höhere Wand vollständig ersetzt werden. Dies liegt daran, dass eine höhere Lärmschutzwand auch höhere Anforderungen an die Foundation stellt.

⁸⁶ Kann eine bestehende Lärmschutzwand erhöht werden, ohne dass ein kompletter Ersatz erforderlich wird, so steht man im Wesentlichen vor der klassischen Investitionsentscheidung, ob die Kosten der Erhöhung durch entsprechende zusätzliche Nutzen (in Form verminderter Mietzinsausfälle und Gesundheitskosten) bis zum Ablauf der (Rest-)Lebensdauer der bestehenden Lärmschutzwand aufgewogen werden. Somit können im Rahmen einer WTI-Analyse das Effizienz- und Effektivitätskriterium mit dem Standardverfahren berechnet werden. Auf diesen Fall gehen wir daher nicht mehr weiter ein.

- Die verbleibenden Szenarien (mit $WTI \geq 1.0^{87}$) sind in absteigender Reihenfolge nach ihrem WTI zu ordnen.
- Das Szenario mit dem besten WTI ist zu realisieren.

7.5.2 Bestimmung der Effizienz mit angepasster Methode

Der unterschiedliche Realisierungszeitpunkt und der unterschiedliche zeitliche Anfall der Nutzen und Kosten in den drei vorgestellten Szenarien – nämlich sofort im Projektfall und erst nach Ablauf der Restlebensdauer im Referenz- und Vergleichsfall – erfordert eine Barwertbetrachtung der Kosten und Nutzen. Nur damit lässt sich ein volkswirtschaftlich korrekter Vergleich der im Zeitablauf unterschiedlichen Kosten- und Nutzenströme sicherstellen.⁸⁸ Hierzu ist wie folgt vorzugehen:

1	Es muss ein einheitlicher Betrachtungszeitraum für alle Szenarien gewählt werden.
2	Pro Szenario sind die Nutzenströme für jedes Jahr zu ermitteln. Diese sind auf den Entscheidungszeitpunkt abzudiskontieren .
3	Pro Szenario sind die Investitionskosten zu bestimmen . Diese können differenziert werden zwischen Wiederbeschaffungskosten und Neubaukosten: <ul style="list-style-type: none"> – Neubaukosten: Sie beinhalten alle Kosten, zur Realisierung einer neuen, höheren Lärmschutzwand erforderlich sind. Je nach Ausmass der Erhöhung muss allenfalls die Fundation ebenfalls neu erstellt werden, weil die bestehende die höhere Wand nicht tragen kann.⁸⁹ – Wiederbeschaffungskosten: Sie sind in der Regel niedriger als die Neubaukosten, weil die Fundation einer bestehenden Lärmschutzwand übernommen werden kann. In der Folge sind auch keine Anpassungen an Werkleitungen oder dergleichen notwendig.
4	Pro Szenario sind die Investitionskosten auf den Entscheidungszeitpunkt abzudiskontieren . Dabei gilt es folgende Spezialfälle zu berücksichtigen. <ul style="list-style-type: none"> – Wenn der Betrachtungszeitraum über die Lebensdauer hinaus reicht, so müssen die Kosten der dann anfallenden Ersatzinvestition berücksichtigt werden. – Wenn der Betrachtungszeitraum nicht die volle Lebensdauer der Lärmschutzwände abdeckt, ist am Ende des Betrachtungszeitraums der Restwert (als Kostenreduktion) anzurechnen.⁹⁰
5	Optional kann aus den Barwerten aus Nutzen und Kosten anschliessend ein jährlicher Wert (Annuität) bestimmt werden. So bleibt die Vergleichbarkeit mit dem bestehenden WTI gewahrt, der jährliche Nutzen- und Kostenangaben vergleicht.
6	Aus diesen Beträgen ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis (Effizienz) zu bilden.

⁸⁷ Sofern nur effiziente Massnahmen realisiert werden sollen, müsste zusätzlich auch die Anforderung Nutzen \geq Kosten erfüllt sein.

⁸⁸ Im bestehenden Excel-Tool (Berechnungsmodul zur UV- 0637 Anhang 4. Version 2.1) kann das durch ein paar Anpassungen eingebaut werden, ohne dass eine grundsätzliche Neukonzipierung erforderlich ist.

⁸⁹ Wird im Betrachtungszeitraum mehr als einmal die Lebensdauer erreicht, so fällt im zweiten Erneuerungszyklus der jeweils andere Wert an, weil nach rund zwei Zyklen in der Regel auch die Fundation erneuert werden muss.

⁹⁰ Die vorgeschlagene Methode berücksichtigt den (noch nicht abgeschriebenen) Restwert einer Lärmschutzwand am Ende des Betrachtungszeitraums als «Kostenreduktion». Dadurch wird sichergestellt, dass zwei Projekte auf den gleichen Betrachtungszeitraum gebracht, und miteinander vergleichbar werden. Die von einigen Kantonen (vgl. Umfrageergebnisse) und vom ASTRA angewendeten Methoden verwenden die nicht abgeschriebene Investition (Restwert) auf der Kostenseite als Bewertung des noch nicht «realisierten» Nutzens einer bestehenden Wand. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist dies korrekt. Ökonomisch besteht hingegen der Nutzen der bestehenden Wand aus seiner entfalteten Wirkung zum Schutz der Menschen vor den Auswirkungen des Lärms.

Die Berechnung von Effektivität und WTI wird wie bisher vorgenommen und muss nicht angepasst werden.

7.5.3 Darstellung der Berechnungsmethodik anhand eines Beispiels

Nachstehend wird dieses Vorgehen anhand eines realen Beispiels noch etwas detaillierter erläutert.⁹¹ Hierzu wird ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren verwendet, was im vorliegenden Beispiel der Lebensdauer einer neuen Lärmschutzwand entspricht.

Im Weiteren werden folgenden Annahmen den Berechnungen zugrunde gelegt:

- **Referenzfall / Ersatz bei Ablauf der Lebensdauer** (vgl. oberer Teil der nachstehenden Abbildung 7-4):
 - Es besteht aktuell eine Lärmschutzwand von 5.0m Höhe und einer Lebensdauer von insgesamt 30 Jahren.
 - Die aktuell bestehende Wand wurde vor 15 Jahren gebaut, hat also zurzeit noch eine Restlebensdauer von 15 Jahren. Der normale Ersatzzeitpunkt wäre dementsprechend im Jahr 15.
 - Die Wiederbeschaffungskosten belaufen sich auf 1.54 Mio. CHF (rote Säule).
 - Die 5.0m hohe Lärmschutzwand generiert einen jährlichen Nutzen von 73'287 CHF (grüne Säule).
 - Die jährlichen Unterhaltskosten liegen bei 15'400 CHF.
 - Die Effektivität der Wand beträgt 99%.
- **Projektfall / Erhöhung heute** (vgl. unterer Teil von Abbildung 7-4): Es liegt nun ein Projekt vor, das den sofortigen Ersatz der bestehenden Wand durch eine neue 6.5m hohe Lärmschutzwand vorsieht (weil z.B. in der Zwischenzeit weitere Häuserreihen gebaut oder Gebäude erhöht wurden, die nur durch eine Erhöhung der Lärmschutzwand geschützt werden können).
 - Die Kosten für den Bau der 6.5m hohen Lärmschutzwand belaufen sich auf 2.4 Mio. CHF.
 - Die Erhöhung führt auch zu höheren Unterhaltskosten von 24'310 CHF pro Jahr.
 - Mit der Erhöhung könnten mehr Häuser vor Lärm geschützt werden, so dass der Nutzen durch verminderte Mietzinsausfälle und geringere Gesundheitsschäden von heute 73'287 auf 77'303 pro Jahr steigen würde.
 - Die Lebensdauer der neuen Wand beträgt wiederum 30 Jahre.
 - Die Effektivität der erhöhten Wand beträgt 100%.
- **Vergleichsfall / Erhöhung bei Ablauf der Lebensdauer** (vgl. Abbildung 7-5): Als Ergänzung zum Projektfall mit dem sofortigen Ersatz der bestehenden Wand, sollte in einer solchen Situation immer auch geprüft werden, wie sich das Ergebnis von Kosten und Nutzen

⁹¹ Das Beispiel basiert ist angelehnt an einen konkreten Fall, der uns vom ASTRA zur Verfügung gestellt wurde.

präsentieren würde, wenn die neue, höhere Lärmschutzwand erst nach Ablauf der Restlebensdauer der bestehenden Wand realisiert wird:

- Der Neubau der höheren Wand wird im Jahr 15 (nach Ablauf der Lebensdauer der bestehenden Wand) mit Kosten von ebenfalls 2.4 Mio. CHF realisiert.⁹²
- Ab diesem Zeitpunkt steigen auch die jährlichen Nutzen von 73'287 auf 77'303 CHF.
- Auch die jährlichen Unterhaltskosten steigen ab diesem Zeitpunkt von 15'400 auf 24'310 CHF.
- Die Effektivität liegt ebenfalls bei 100%.

⁹² Wir verzichten bei diesem Vergleich darauf, eine Bauteuerung zu berücksichtigen und rechnen sowohl die Kosten- wie auch die Nutzen in realen Grössen. Selbstverständlich könnten die Berechnungen unter Berücksichtigung einer Inflation auch in nominalen Werten vorgenommen werden, in diesem Fall müsste auch der unterlegte Diskontierungssatz erhöht werden. Letztlich käme eine solche Berechnungsweise zum gleichen Ergebnis wie eine Betrachtung in realen, inflationsbereinigten Grössen.

Abbildung 7-4: Referenzfall und Projektfall

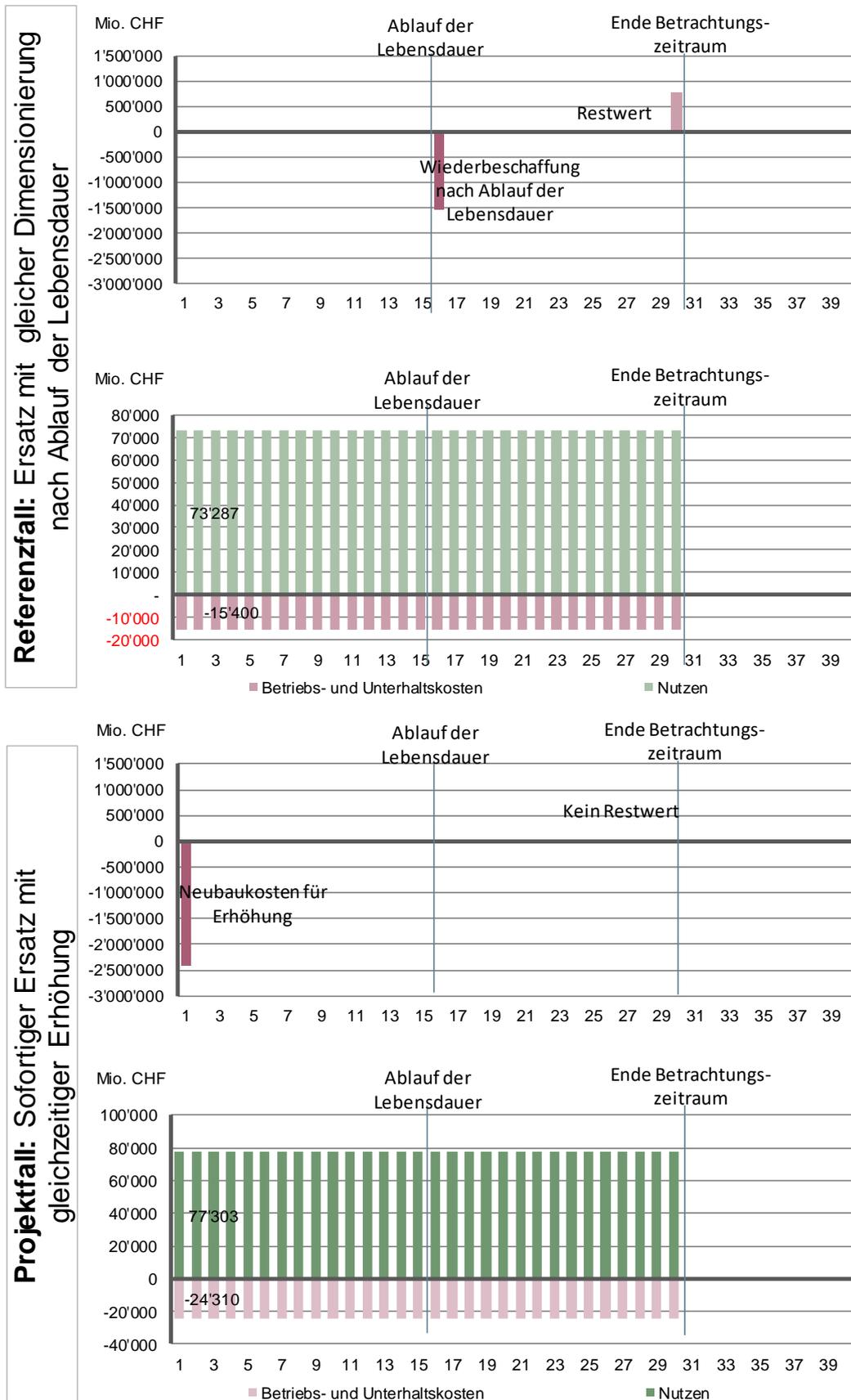
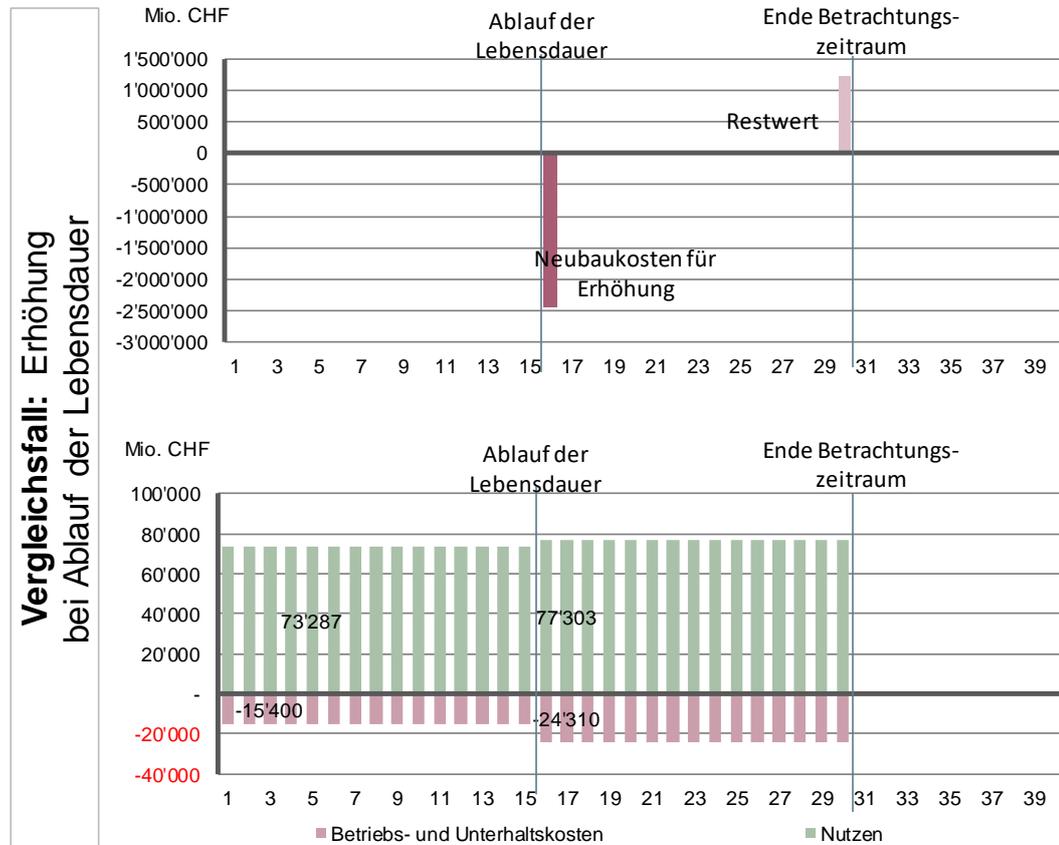


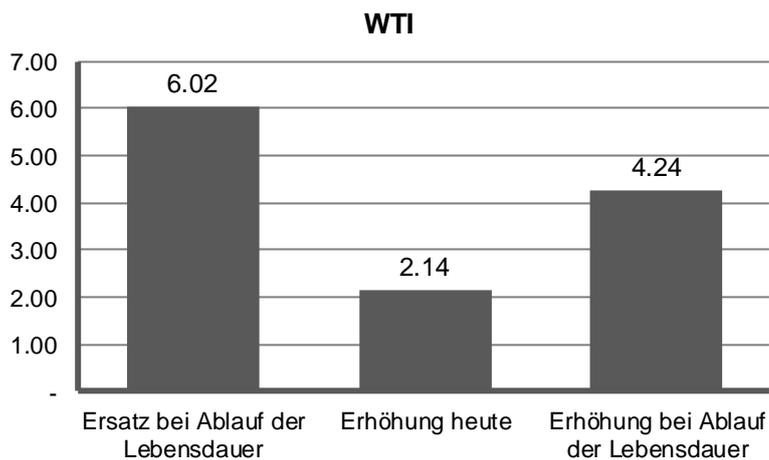
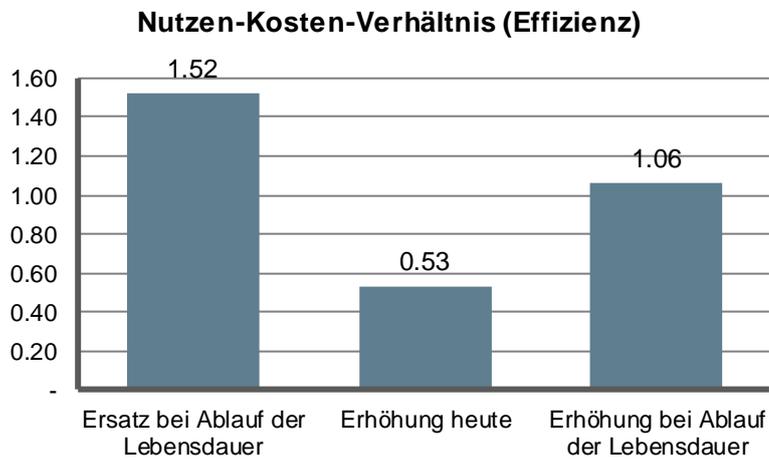
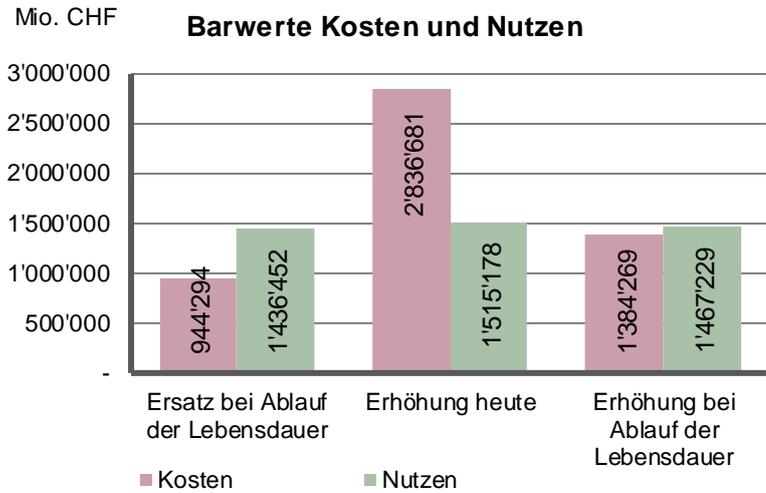
Abbildung 7-5: Vergleichsfall



Auf Basis der dargestellten Kosten- und Nutzenströme in den vorangehenden Abbildungen lassen sich für jedes Szenario unter Beachtung eines Diskontierungssatzes⁹³ die Barwerte der Kosten und Nutzen im Entscheidungszeitpunkt (Jahr 1) bilden. Daraus kann das Nutzen-Kosten-Verhältnis (Effizienz) und zusammen mit der Effektivität auch der WTI berechnet werden. Die Ergebnisse dieser Berechnungsschritte werden in der nachstehenden Abbildung ausgewiesen.

⁹³ Für das Berechnungsbeispiel verwenden wir einen Diskontierungssatz von 3.0%. Dieser Wert entspricht dem im WTI-Berechnungstool unterstellten Zinssatz für die Kapitalverzinsung.

Abbildung 7-6: Resultierende Barwerte, Nutzen-Kosten-Verhältnisse und WTI



Gemäss dem vorgeschlagenen Vorgehen sind nun diese drei Szenarien nach ihrem WTI zu filtern und die verbleibenden Szenarien nach dem WTI in absteigende Reihenfolge zu bringen:

- **Filter:** Alle Szenarien weisen einen WTI von > 1.0 aus und sind damit verhältnismässig.
- **Priorisierung:** Die verbleibenden Szenarien werden in eine Rangfolge gebracht
 - Referenzfall: 6.02
 - Vergleichsfall: 4.24⁹⁴
 - Projektfall: 2.14

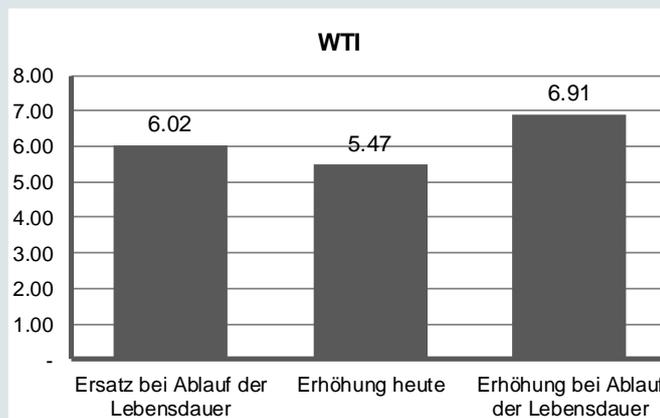
Damit wird in diesem Fall empfohlen, auf die Erhöhung zu verzichten und stattdessen die bestehende Lärmschutzwand nach Ablauf der Lebensdauer mit einer gleich hohen zu erneuern.

Exkurs: Bedeutung des Vergleichsfalls

Im obigen, realen Beispiel hat sich gezeigt, dass der Referenzfall den höchsten WTI aufweist und auch vom Vergleichsfall (Erhöhung nach Ablauf Restlebensdauer) nicht «geschlagen» wird. Das muss aber nicht zwingend so sein.

Bei der Berechnung des WTI für die nachstehende Abbildung haben wir den Nutzen der erhöhten Wand aus dem Beispiel im Haupttext so gewählt, dass der Vergleichsfall besser abschneidet als der Referenzfall.⁹⁵

Abbildung 7-7: Alternative Ergebnisse / WTI mit Vergleichsfall



⁹⁴ Damit der Vergleichsfall gemäss seinem WTI in diesem Beispiel besser abschneiden würde als der Referenzfall, müsste der durch die höhere Wand generierte jährliche Nutzen etwa um 69% höher sein als der bisher generierte Nutzen mit der bestehenden, weniger hohen Wand (oder 60% höher als der im realen Beispiel berechnete Nutzen der höheren Wand). Damit der Projektfall mindestens gleich gut abschneidet wie der Referenzfall wäre sogar eine Erhöhung des jährlichen Nutzens um 77% gegenüber dem Nutzen der heute bestehenden Lärmschutzwand erforderlich (oder 69% höher als der im realen Beispiel berechnete Nutzen der höheren Wand).

⁹⁵ Gegenüber dem im realen Beispiel berechneten Nutzen wurde für die höhere Wand eine Erhöhung des Nutzens um 60% angenommen (123'000 statt 77'000 CHF). Der Nutzen der höheren Wand wäre damit um 69% höher als der Nutzen der bestehenden, tieferen Wand.

Würde man bei diesem Beispiel den Vergleichsfall nicht einbeziehen, käme man nur beim Vergleich zwischen Referenz- und Projektfall zum falschen Ergebnis, dass eine Erhöhung nicht angezeigt ist (WTI 6.02 ist grösser als 5.47). Erst der Einbezug des Vergleichsfalls macht deutlich, dass sich eine Erhöhung lohnt, allerdings erst nach Ablauf der Restlebensdauer also zum ordentlichen Ersatzzeitpunkt (WTI 6.91 ist grösser als 6.02 und 5.47). Würde im folgenden alternativen Beispiel der Vergleichsfall nicht einbezogen, könnte der Schluss gezogen werden, eine Erhöhung sei grundsätzlich nicht zu realisieren.

Der Einbezug des Vergleichsfalls ermöglicht damit eine fundierte Entscheidung dazu, ob der Ersatz mit gleichzeitiger Erhöhung heute oder bei Ablauf der Lebensdauer einer bestehenden Wand erfolgen soll.

7.5.4 Fazit

Ist ein vorzeitiger Ersatz einer bestehenden Lärmschutzwand durch eine neue, höhere Wand zu beurteilen, so muss eine Gegenüberstellung der im Zeitablauf unterschiedlichen Kosten- und Nutzenströme vorgenommen werden.⁹⁶

Es ist angezeigt, dabei auch einen Vergleichsfall (Ersatz mit höherer Lärmschutzwand erst nach Ablauf der Restlebensdauer der bestehenden Wand) einzubeziehen. Damit lässt sich sicherstellen, dass alle Handlungsoptionen (keine Erhöhung, sofortige Erhöhung oder Erhöhung erst im Ersatzzeitpunkt) beurteilt werden und keine voreiligen Entscheide getroffen werden. Methodisch lässt sich dieser Vergleich mit einer klassischen Ermittlung der Barwerte der zeitlich unterschiedlich anfallenden Kosten und Nutzen erstellen.

Eine dahingehende Erweiterung des WTI-Tools ist möglich, ohne dass Eingriffe in die grundsätzliche Beurteilungsmethodik des WTI mit seiner Verknüpfung von Effizienz und Effektivität erforderlich sind.

Die vorgeschlagene Methode berücksichtigt bei der Berechnung der Effizienz und damit des WTI die unterschiedlichen Realisierungszeitpunkte. Durch den Einbezug des Vergleichsfalls wird verhindert, dass auf eine Erhöhung nach Ablauf der Lebensdauer der bestehenden Wand verzichtet wird, wenn der WTI oder die Effizienz der höheren Wand höher ist als der Ersatz der bestehenden niedrigeren Lärmschutzwand. Die Methode beantwortet somit gleichzeitig die Frage, ob eine Erhöhung realisiert werden sollte und wann sie realisiert werden sollte.

⁹⁶ Die gleiche Methode kann grundsätzlich auch auf den frühzeitigen Ersatz lärmarmen Beläge angewendet werden.

7.6 Mehraufwand durch Ausdehnung des Beurteilungsperimeters

Frage: Welche Auswirkungen (Grössenordnung) hat die Verwendung der niedrigeren Schwellenwerte bei der Nutzenberechnung auf die notwendigen Arbeiten zur Berechnung des WTI?

Die Schwellenwerte zur Berechnung der Nutzen einer Lärmschutzmassnahme sollen mit der neu empfohlenen Methode gesenkt werden. Dies führt dazu, dass sich der Perimeter der zu berücksichtigenden Gebäude vergrössert. Nachfolgend wird abgeschätzt wie stark sich der Perimeter ausdehnen könnte und es wird ein Vorgehen aufgezeigt, wie der Akustiker seinen Mehraufwand in vertretbaren Grenzen halten kann.

7.6.1 Bisherige und neue Schwellenwerte

Waren in der bisherigen Methodik in einem Lärmschutzprojekt Massnahmen zu prüfen, so galten für den Akustiker zwei verschiedene Perimeter.

- Einerseits handelt es sich um den durch das Gesetz (USG und LSV) vorgeschriebene Belastungsgrenzwert-Perimeter (Einhaltung Immissionsgrenzwert bei bestehenden Anlagen und Einhaltung Planungswert bei Neuanlagen).
- Andererseits wird aktuell zur Ermittlung der Effektivität ein erweiterter Perimeter berücksichtigt (IGW-5 resp. PW-5).

Mit der neuen Methodik wird dieser Perimeter weiter ausgedehnt bzw. neu durch die Schwellenwerte für die Mietzinsverluste 40 dB(A) nachts (und 50 dB(A) tags) definiert. Der folgende Vergleich zeigt, dass bei bestehenden Anlagen der Perimeter um 10 dB(A) in ES III (von 50 auf 40 dB(A)), und um 5 dB(A) in ES II (von 45 auf 40 dB(A)) ausgedehnt wird. Bei Neuanlagen beträgt die Ausdehnung nur 5 dB(A) in ES III bzw. 0 dB(A) in ES II.

Abbildung 7-8: Vergleich bisherige Grenzwerte und neue Schwellenwerte für Mietzinsverluste

	Neue Methodik		Bisherige Methodik		ES III		ES II	
	Schwellenwert bei Mietzinsverlust		Schwellenwert bei Mietzinsverlust		Lr Tag		Lr Nacht	
	Lr Tag dB(A)	Lr Nacht dB(A)			Lr Tag dB(A)	Lr Nacht dB(A)	Lr Tag dB(A)	Lr Nacht dB(A)
Best. Anlagen	50	40	IGW-5		60	50	55	45
			<i>Ausdehnung Perimeter</i>		<i>10</i>	<i>10</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
Neuanlagen	50	40	PW-5		55	45	50	40
			<i>Ausdehnung Perimeter</i>		<i>5</i>	<i>5</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

7.6.2 Von Mehraufwand betroffene Arbeiten

In dem zur Berechnung des WTI notwendigen Perimeter (definiert durch den tiefsten abzudeckenden Grenz- oder Schwellenwert) werden vom Akustiker im Wesentlichen die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- Während der **Begehung** im Feld: Fotografieren der betroffenen Gebäude (alle lärmbelasteten Fassaden), Bezeichnung der Fenster von lärmempfindlich genutzten Räumen, Erfassung der Anzahl Wohnungen pro Geschoss.
- **Übertrag** der Feldaufnahmen in das digitale Lärmberechnungsmodell: Detaillierte Modellierung der betroffenen Gebäude, Eintrag der relevanten Fenster als Empfangspunkte (EP), Bezeichnung der EP mit den notwendigen Attributen, Kontrolle der relevanten Hindernisse im Ausbreitungsgebiet (Topografie und Bauten).

Bei einer Ausdehnung des Perimeters müssen somit zusätzliche Gebäude im Feld erfasst und in das Lärmberechnungsmodell übertragen werden.

7.6.3 Ausdehnung Perimeter

Nachfolgend wird mit drei verschiedenen Ansätzen die notwendige räumliche Ausdehnung des Perimeters ausgehend von den bisherigen Grenz- und neuen Schwellenwerten untersucht:

- Wie viele zusätzliche Gebäude (Anzahl und in %) müssten durch den Akustiker bei den im Rahmen des vorliegenden Berichts untersuchten **Fallbeispielen** (vgl. Abschnitte 5.1.3 sowie 6.1) im Feld erfasst und digital ins Berechnungsmodell übertragen werden?
- Wie würde sich die Erweiterung des Perimeters in einem **realen Beispiel** (Gemeinde Gisikon LU) auswirken?
- Welche Aussagen lassen sich für die Anzahl zusätzlicher Gebäude basierend auf dem Datensatz **sonBASE** (Datenbank mit Lärmbelastung pro Gebäude) für die ganze Schweiz gewinnen?

a) Fallbeispiele

Die Ausdehnung des Perimeters, mit dem Einsatz der neuen Schwellenwerte von 40 dB(A) nachts (50 dB(A) tags), lässt sich mit Hilfe der Fallbeispiele aufzeigen. Wir haben dazu aus den Besiedlungs-Typen «nicht dicht» und «dicht» die Beispiele mit der grössten notwendigen Perimeterausdehnung (mit Topografie «Hang aufwärts» (Hf)) ausgewählt.⁹⁷

⁹⁷ Wir stellen sowohl den Zeitraum Nacht als auch Tag dar, weil es insbesondere bei Gemeindestrassen oder Bahnlagen ohne Güterverkehr vorkommen kann, dass der Nachtlärm 10 dB(A) über dem Taglärm liegt.

Abbildung 7-9: Fallbeispiele: Ausdehnung Gebäude in %, ES II, Zeitraum Tag

ID	Besiedlung	Typ	ES	Topografie	Zeitraum	Anzahl Gebäude		Ausdehnung Gebäude	
						bisher IGW-5	neu	%	%
						Lr > 55	Lr > 50	Lr 50-54.9	
K	ND	EFH	II	Hf	Tag	28	46	18	64
K	D	MFH	II	Hf	Tag	17	21	4	24
N1	ND	EFH	II	Hf	Tag	174	292	118	68
N1	D	MFH	II	E	Tag	61	105	44	72
E	ND	EFH	II	Hf	Tag	40	62	22	55
Mittlere Ausdehnung des Perimeters in %, Tag, ES II:									57

Abbildung 7-10: Fallbeispiele: Ausdehnung Gebäude in %, ES III, Zeitraum Tag

ID	Besiedlung	Typ	ES	Topografie	Zeitraum	Anzahl Gebäude		Ausdehnung Gebäude	
						bisher IGW-5	neu	%	%
						Lr > 60	Lr > 50	Lr 50-59.9	
K	ND	EFH	III	Hf	Tag	20	46	26	130
K	D	MFH	III	Hf	Tag	9	21	12	133
N1	ND	EFH	III	Hf	Tag	98	292	194	198
N1	D	MFH	III	E	Tag	35	105	70	200
E	ND	EFH	III	Hf	Tag	20	62	42	210
Mittlere Ausdehnung des Perimeters in %, Tag, ES III:									174

Abbildung 7-11: Fallbeispiele: Ausdehnung Gebäude in %, ES II, Zeitraum Nacht

ID	Besiedlung	Typ	ES	Topografie	Zeitraum	Anzahl Gebäude		Ausdehnung Gebäude	
						bisher IGW-5	neu	%	%
						Lr > 45	Lr > 40	Lr 40-44.9	
K	ND	EFH	II	Hf	Nacht	42	64	22	52
K	D	MFH	II	Hf	Nacht	18	25	7	39
N1	ND	EFH	II	Hf	Nacht	246	419	173	70
N1	D	MFH	II	E	Nacht	91	149	58	64
E	ND	EFH	II	Hf	Nacht	70	120	50	71
Mittlere Ausdehnung des Perimeters in %, Nacht, ES II:									59

Abbildung 7-12: Fallbeispiele: Ausdehnung Gebäude in %, ES III, Zeitraum Nacht

ID	Besiedlung	Typ	ES	Topografie	Zeitraum	Anzahl Gebäude		Ausdehnung Gebäude	
						bisher IGW-5	neu	Lr > 50	Lr > 40
K	ND	EFH	III	Hf	Nacht	20	64	44	220
K	D	MFH	III	Hf	Nacht	9	25	16	178
N1	ND	EFH	III	Hf	Nacht	144	419	275	191
N1	D	MFH	III	E	Nacht	54	149	95	176
E	ND	EFH	III	Hf	Nacht	44	120	76	173
Mittlere Ausdehnung des Perimeters in %, Nacht, ES III:									188

Die Auswertung der Fallbeispiele zeigt:

- Im Zeitraum **Tag**: in der ES II ist mit einem Mehraufwand von ca. 57 % zu rechnen.
in der ES III ist mit einem Mehraufwand von ca. 174 % zu rechnen.
- Im Zeitraum **Nacht**: in der ES II ist mit einem Mehraufwand von ca. 59 % zu rechnen.
in der ES III ist mit einem Mehraufwand von ca. 188 % zu rechnen.
- Die %-Ausdehnung im Bereich «Hang aufwärts» (Hf) und «Ebene» (E) ist in vergleichbarer Grössenordnung.

Das flächenhafte Muster der Perimeter «bisher» und «neu» lässt sich an folgenden vier Fallbeispielen gut darstellen. Blau und grün dargestellt sind die Perimeter in der bisherigen Ausdehnung. Rot dargestellt sind die aufgrund der neuen Schwellenwerte zusätzlich zu erhebenden Gebäude.

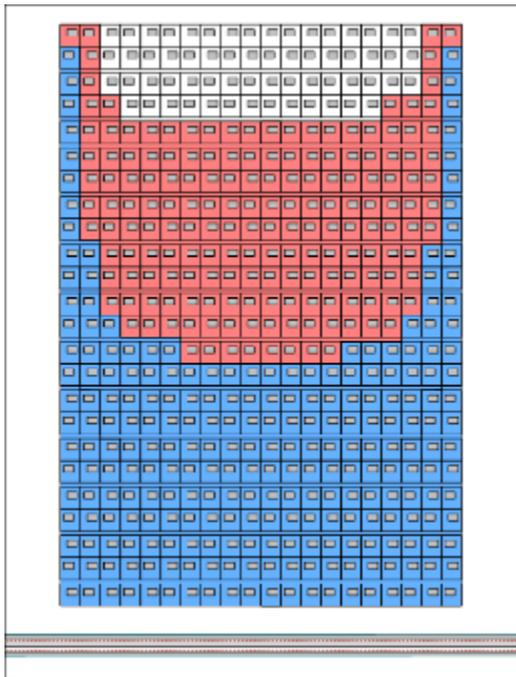
Abbildung 7-13: Flächige Perimeter-Ausdehnung mit Schwellenwerten 40/50, Zeitraum Nacht

Bahn, nicht dicht, ES II, Hang aufwärts



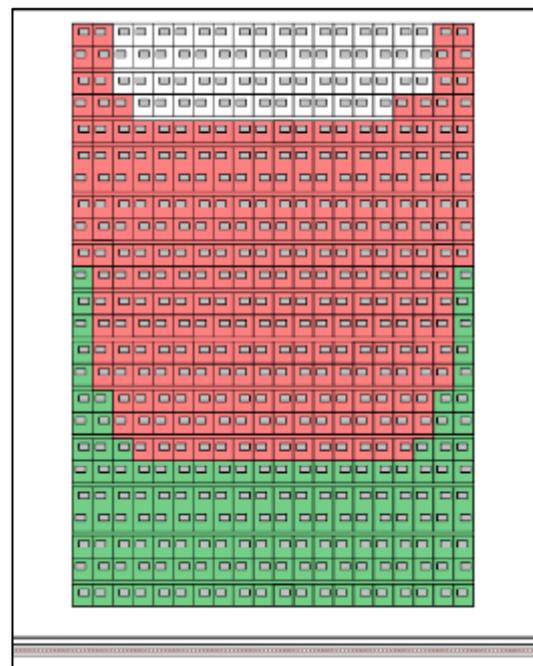
Bahn, nicht dicht, ES III, Hang aufwärts



N1, nicht dicht, **ES II**, Hang aufwärts**Legende:**

blaue Fläche: Perimeter bisher (IGW-5 = 45)

rote Fläche: Ausdehnung neu mit 40 dB(A)

N1, nicht dicht, **ES III**, Hang aufwärts**Legende:**

grüne Fläche: Perimeter bisher (IGW-5 = 50)

rote Fläche: Ausdehnung neu mit 40 dB(A)

Bei dieser Auswertung ist zu bedenken, dass es sich nicht um reale Bebauungsstrukturen handelt. Die Fallbeispiele sind durch eine «rechteckige» Siedlungsstruktur, meist ohne Lücken und mit ausreichend Baureihen definiert. Der berechnete Mehraufwand (in %) ist dabei als Obergrenze zu betrachten.

Wie die Siedlungsstruktur in der Realität davon abweichen kann und welche Auswirkungen dies auf den Perimeter haben kann, zeigt das nachfolgende reale Beispiel.

b) Reales Beispiel Gemeinde Gisikon (LU)

Auffällig in den Auswertungen der Fallbeispiele ist die starke prozentuale Ausdehnung in den Gebieten mit der Empfindlichkeitsstufe III. Diese Gebiete sind jedoch immer nahe am Verkehrsträger bzw. an der Lärmquelle gelegen. Weiter entfernte Gebiete der ES III betreffen die Landwirtschaftszone und in dieser sind nur noch einzelne Höfe oder Weiler betroffen.

Abbildung 7-14: Bauzonen mit der ES III in der Gemeinde Gisikon (LU)

Quelle: Raumdatenpool Kanton Luzern

Der Perimeter der Empfindlichkeitsstufe II wird in der Regel durch das Baugebiet und die Topografie beschränkt. Im realen Beispiel Gisikon liegt das gesamte Baugebiet (berechnet auf 7m über Terrain) im Bereich des aktuell gültigen Perimeters (IGW-5) und es wäre deshalb keine Ausdehnung des Perimeters notwendig.

Die mit der neuen Methodik denkbare Ausdehnung auf den Schwellenwert 40 dB(A) nachts (50 dB(A) tags) liegt in diesem Beispiel vollumfänglich in der Landwirtschaftszone und im Wald. Das heisst, es ist nur ein geringer zusätzlicher Aufwand notwendig.

Abbildung 7-15: Baugebiet Gemeinde Gisikon (LU)

Quelle: Homepage Gemeinde Gisikon

c) Statistik sonBASE (Gebäude, Strassenlärm)

Auf der Grundlage von sonBASE⁹⁸ (Lärmdatenbank Schweiz, 2011) berechnen wir nachfolgend für den Strassenlärm die mögliche prozentuale Ausdehnung des Perimeters getrennt nach ES II / ES III in den Zeiträumen Tag sowie Nacht. Die Auswertung erfolgt für die ganze Schweiz und berücksichtigt die reale Bebauung (Stand 2011).

Abbildung 7-16: Strassenlärm Schweiz: Ausdehnung Gebäude in %, **ES II**, Zeitraum Tag/Nacht

ES	Zeit raum	Anzahl Gebäude bisher IGW-5	Anzahl Gebäude neu	Ausdehnung			
				Total	in %		
II	Tag	Lr > 55	186'390	Lr > 50	336'954	150'564	81
II	Nacht	Lr > 45	161'349	Lr > 40	316'688	155'339	96

Abbildung 7-17: Strassenlärm Schweiz: Ausdehnung Gebäude in %, **ES III**, Zeitraum Tag/Nacht

ES	Zeit raum	Anzahl Gebäude bisher IGW-5	Anzahl Gebäude neu	Ausdehnung			
				Total	in %		
III	Tag	Lr > 60	155'717	Lr > 50	395'734	240'017	154
III	Nacht	Lr > 50	111'620	Lr > 40	364'778	253'158	227

7.6.4 Vergleich der prozentualen Ausdehnung aus Fallbeispielen und sonBASE

Die folgende Abbildung zeigt die prozentuale Ausdehnung der Anzahl Gebäude ausgehend von den Fallbeispielen und der sonBASE-Auswertung.

Abbildung 7-18: Vergleich: prozentuale Ausdehnung

ES	Zeit- raum	Ausdehnung Gebäude in % Fallbeispiele	Ausdehnung Gebäude in % sonBASE 2011
II	Tag	57%	81%
II	Nacht	59%	154%
III	Tag	174%	96%
III	Nacht	188%	227%

Der Vergleich der prozentualen Ausdehnung zeigt folgendes:

- Die jeweils grössere Ausdehnung des Perimeters erfolgt für die Schwellen- bzw. Grenzwerte in der Nacht (22:00 – 06:00 Uhr).
- Durch die neuen Schwellenwerte von 40/50 dB(A) kann sich der Aufwand für den Akustiker gegenüber der bisherigen Methodik im Extremfall verdoppeln bis verdreifachen.

Die relativen Angaben zum entstehenden Mehraufwand müssen letztlich in Bezug zu absoluten Grössen gesetzt werden. Die folgenden Angaben beziehen sich auf reale Projekte:

- Beim Lärmsanierungsprojekt Gemeindestrassen Hergiswil (NW) betrug der Akustiker-Aufwand für den Perimeter mit der bisherigen Methodik ca. 3'000 CHF bei einem Gesamtaufwand von 48'000 CHF.
- Beim Lärmsanierungsprojekt Hünenbergstrasse, Stadt Luzern betrug der Akustiker-Aufwand für den Perimeter mit der bisherigen Methodik ca. 5'800 CHF bei einem Gesamtaufwand von 85'000 CHF.

7.6.5 Sensitivität: Schwellenwerte bei 45/55 anstelle von 40/50

Aus Sicht des Akustikers, der seinen Mehraufwand möglichst gering halten möchte, haben wir geprüft, wie der Mehraufwand auf eine Erhöhung des Schwellenwertes von 40/50 auf 45/55 dB(A) reagiert. Dieser hypothetische Schwellenwert entspricht dem bisherigen Wert für eine bestehende Anlage in der Empfindlichkeitsstufe II (IGW-5). Dabei stellt sich folgende Frage: Verändert sich der WTI in der neuen Methodik von «realisierbar» (≥ 1.0) zu «nicht realisierbar» (< 1.0)?

Für die Berechnung wurde ceteris paribus von einer Erhöhung des Schwellenwertes ausgegangen. Alle anderen Annahmen zur Berechnungsmethodik (Mietzinsabschlag in % sowie durchschnittlicher Mietzins pro m², Kosten von 3'600 CHF/m² Lärmschutzwand und 36 CHF/m² lärmarmen Belag) wurden nicht verändert. Es ist bereits hier darauf hinzuweisen, dass eine solche willkürliche Erhöhung des Schwellenwertes bzw. dieses Vorgehen empirisch / ökonomisch weder vorgeschlagen noch empfohlen werden kann.

Abbildung 7-19: Veränderung WTI mit Schwellenwert 45/55: Kantonsstrasse

ID	Typ	ES	Siedlung	Topografie	Höhe	WTI40	WTI45	Veränderung
K1	LSW	II	ND	E	2	1.3	0.97	ja
K2	LSW	II	ND	Hf	2	0.4	0.3	nein
K3	LSW	II	ND	Hb	2	0.9	0.7	nein
K5	LSW	III	ND	E	2	1.4	1.0	nein
K6	LSW	III	ND	Hf	2	0.8	0.6	nein
K7	LSW	III	ND	Hb	2	0.7	0.6	nein
K9	LSW	II	D	E	2	1.7	1.3	nein
K10	LSW	II	D	Hf	2	0.6	0.5	nein
K11	LSW	II	D	Hb	2	1.5	1.2	nein
K13	LSW	II	D	E	4	3.1	2.5	nein
K14	LSW	III	D	E	2	1.9	1.5	nein
K15	LSW	III	D	Hf	2	0.7	0.6	nein
K16	LSW	III	D	Hb	2	2.0	1.7	nein
K18	LSW	III	D	E	4	3.2	2.6	nein

Abbildung 7-20: Veränderung WTI mit Schwellenwert 45/55: Eisenbahn

ID	Typ	ES	Siedlung	Topografie	Höhe	WTI40	WTI45	Veränderung
E1	LSW	II	ND	E	2	2.3	1.7	nein
E2	LSW	II	ND	Hf	2	0.7	0.6	nein
E3	LSW	II	ND	Hb	2	1.7	1.3	nein
E4	LSW	III	ND	E	2	2.7	2.0	nein
E5	LSW	III	ND	Hf	2	0.8	0.6	nein
E6	LSW	III	ND	Hb	2	1.9	1.5	nein
E7	LSW	II	D	E	2	3.6	2.7	nein
E8	LSW	II	D	Hf	2	0.99	0.7	nein
E9	LSW	II	D	Hb	2	2.7	2.2	nein
E10	LSW	III	D	E	2	3.4	2.5	nein
E11	LSW	III	D	Hf	2	1.0	0.8	ja
E12	LSW	III	D	Hb	2	2.5	2.0	nein

Abbildung 7-21: Veränderung WTI mit Schwellenwert 45/55: Nationalstrasse (DTV = 55'000)

ID	Typ	ES	Siedlung	Topografie	Höhe	WTI40	WTI45	Veränderung
N1	LSW	II	ND	E	4	1.9	1.5	nein
N2	LSW	II	ND	Hf	4	0.98	0.9	nein
N3	LSW	II	ND	Hb	4	1.3	0.95	ja
N5	LSW	III	ND	E	4	2.0	1.6	nein
N6	LSW	III	ND	Hf	4	1.2	1.1	nein
N7	LSW	III	ND	Hb	4	1.3	0.95	ja
N9	LSW	II	D	E	4	4.9	4.3	nein
N10	LSW	II	D	Hf	4	2.3	2.0	nein
N10a	LSW	II	D	Hf	6	3.3	2.9	nein
N11	LSW	II	D	Hb	4	3.9	3.5	nein
N13	LSW	II	D	E	2	4.0	3.5	nein
N14	LSW	III	D	E	4	5.7	4.9	nein
N15	LSW	III	D	Hf	4	2.8	2.5	nein
N15a	LSW	III	D	Hf	6	4.0	3.6	nein
N16	LSW	III	D	Hb	4	4.4	4.0	nein
N18	LSW	III	D	E	2	4.8	4.2	nein
N19	LSW	III	Z	E	4	4.9	4.3	nein

Abbildung 7-22: Veränderung WTI mit Schwellenwert 45/55: Nationalstrasse (DTV = 100'000)

ID	Typ	ES	Siedlung	Topografie	Höhe	WTI40	WTI45	Veränderung
HN2	LSW	II	D	E	6	4.3	3.7	nein
HN3	LSW	II	D	Hb	4	4.0	3.5	nein
HN4	LSW	II	D	Hf	6	3.6	3.2	nein
HN6	LSW	III	D	E	6	4.4	3.9	nein
HN7	LSW	III	D	Hb	4	4.2	3.7	nein
HN8	LSW	III	D	Hf	6	4.0	3.5	nein
HN18	LSW	II	ND	E	6	1.5	1.3	nein
HN19	LSW	II	ND	Hb	4	1.2	1.0	nein
HN20	LSW	II	ND	Hf	6	1.3	1.1	nein
HN22	LSW	III	ND	E	4	2.0	1.7	nein
HN23	LSW	III	ND	Hb	4	1.2	1.0	nein
HN24	LSW	III	ND	Hf	6	1.4	1.1	nein
HN26	LSW	III	Z	E	6	3.8	3.3	nein

Der Vergleich der berechneten WTI mit dem hypothetischen Schwellenwert 45/55 dB(A) und dem ökonomisch vorgegebenen von 40/50 dB(A) zeigt, dass nur wenige Lärmschutzwände (4

von 56) nicht mehr realisiert werden könnten. Dies darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass bei einzelnen Fallbeispielen nur noch rund 50% der ursprünglichen Mietzinsnutzen verbleiben. Insbesondere die Fallbeispiele an Kantonsstrassen und an der Eisenbahn schneiden deutlich schlechter ab (nur noch rund 57% im Durchschnitt) als beim ökonomisch korrekten Schwellenwert von 40/50 dB(A). An Nationalstrassen bleiben im Durchschnitt rund 75% an Mietzinsnutzen. Im Durchschnitt über alle Fallbeispiele reduziert sich der erzielte Mietzinsnutzen um rund 30%.

7.6.6 Fazit

Die Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Schwellenwert für Mietzinsverluste bei bestehenden Anlagen soll von bisher «IGW-5» auf einen Wert von 40 dB(A) nachts (50 dB(A) tags) reduziert werden.
- Die Mehrarbeiten des Akustikers betreffen sowohl Arbeiten vor Ort (Aufnahme der Gebäude über dem Schwellenwert) wie auch Arbeiten im Büro (Modellierung der aufgenommenen Gebäude).
- Der Mehraufwand wurde über drei Ansätze eingegrenzt:
 - Aus den Fallbeispielen (Mehraufwand für Gebäudeerfassung) lässt sich ableiten, dass der prozentuale Mehraufwand für den Akustiker im Zeitraum nachts bei Gebieten der ES II ca. 60 % und in Gebieten der ES III ca. 190% beträgt.
 - Der Mehraufwand aus den Fallbeispielen von 190% bei der ES III im Zeitraum tags ist als Obergrenze zu betrachten, weil Gebiete der ES III in der Regel im Nahbereich der Verkehrsträger liegen: Weiter entfernte Gebiete der ES III betreffen die Landwirtschaftszone und in dieser sind nur noch einzelne Höfe oder Weiler betroffen. Aus dem realen Beispiel zeigt sich auch, dass der Perimeter der Empfindlichkeitsstufe II in der Regel durch das Baugebiet und die Topografie beschränkt wird. Es ist deshalb möglich, dass bei Lärmquellen mit hohem Verkehrsaufkommen der bisherige Perimeter (IGW-5) bereits das gesamte Baugebiet umfasst.
 - Eine Auswertung aus den Resultaten von sonBASE (Lärmbelastung Schweiz) zeigt, dass der prozentuale Mehraufwand (Gebäude) im Zeitraum nachts in den Gebieten der ES II bei ca. 150% und in Gebieten der ES III bei ca. 230% liegt.
- Die drei Auswertungen zeigen, dass sich durch die neuen Schwellenwerte von 40/50 dB(A) der Aufwand für den Akustiker verdoppeln bis verdreifachen kann.

Eine mögliche Reduzierung des Mehraufwandes durch den Akustiker lässt sich durch eine hypothetische Anhebung des Schwellenwertes auf 45/55 erreichen. Ein Vergleich der berechneten WTI zwischen den Schwellenwerten 45/55 und 40/50 hat ergeben, dass nur sehr wenige Lärmschutzwände (4 von 56) nicht mehr realisiert werden könnten. Der Nutzen aus der Reduktion von Mietzinsverlusten reduziert sich dadurch aber um 30% - 50%. In realen Siedlungsstrukturen mit wenig Baureihen und dichter Bebauung in den hinteren Baureihen kann dies schnell zu einer Veränderung des Investitionsentscheids führen.

Eine solche Erhöhung der ökonomisch und empirisch fundierten Schwellenwerte von 40 dB(A) nachts und 50 dB(A) tags sollte aufgrund der Glaubwürdigkeit der Methode aber nicht in Betracht gezogen werden. Die Analyse zeigt, dass dadurch im Extremfall nur rund 50% des potenziell vorhandenen Mietzinsnutzens in die Berechnung einfließt.

Wir empfehlen dem Akustiker ein schrittweises Vorgehen. In einem ersten Schritt ist für die WTI-Berechnung ein Perimeter bis zum Wert 45/55 dB(A) zu wählen, der WTI aber mit der neuen Methodik zu ermitteln. Dies entspricht dem bisherigen Perimeter für die ES II und einer Ausweitung für die ES III und führt deshalb nur in ES III zu einem Mehraufwand. Liegt der WTI knapp unter 1.0, muss der Perimeter in einem zweiten Schritt auf die neuen, tieferen Schwellenwerte 40/50 dB(A) ausgedehnt werden, um die Wahrscheinlichkeit von Fehlentscheiden zu vermindern. Ein Verzicht auf diesen zweiten Schritt müsste begründet und transparent ausgewiesen werden.⁹⁹

7.7 Alternative Effektivitätsmasse

Frage: Welche Auswirkungen auf den Investitionsentscheid hätten alternative Effektivitätsmasse, welche auf die Bedeutung des Menschen fokussieren und die Höhe der Grenzwertüberschreitung oder die Art des überschrittenen Grenzwerts (PW, IGW, AW) berücksichtigen?

7.7.1 Ausgangslage

a) Berechnung der Effektivität

Die **Effektivität** einer Massnahme wird in der bisherigen Methodik in folgenden Berechnungsschritten ermittelt:

- A = Ohne Massnahme: Die Überschreitung des massgebenden IGW-Grenzwerts in dB(A) wird mit der betroffenen Fläche gewichtet
- B = Mit Massnahme: Die verbleibende Überschreitung des massgebenden IGW-Grenzwerts in dB(A) wird mit der betroffenen Fläche gewichtet
- Effektivität = (A – B) / A

Als vollständige Formel ausgedrückt:

$$\frac{\sum \text{Fläche} \times \text{Grenzwertüberschreitung}_{\text{ohne}} - \sum \text{Fläche} \times \text{Grenzwertüberschreitung}_{\text{mit}}}{\sum \text{Fläche} \times \text{Grenzwertüberschreitung}_{\text{ohne}}}$$

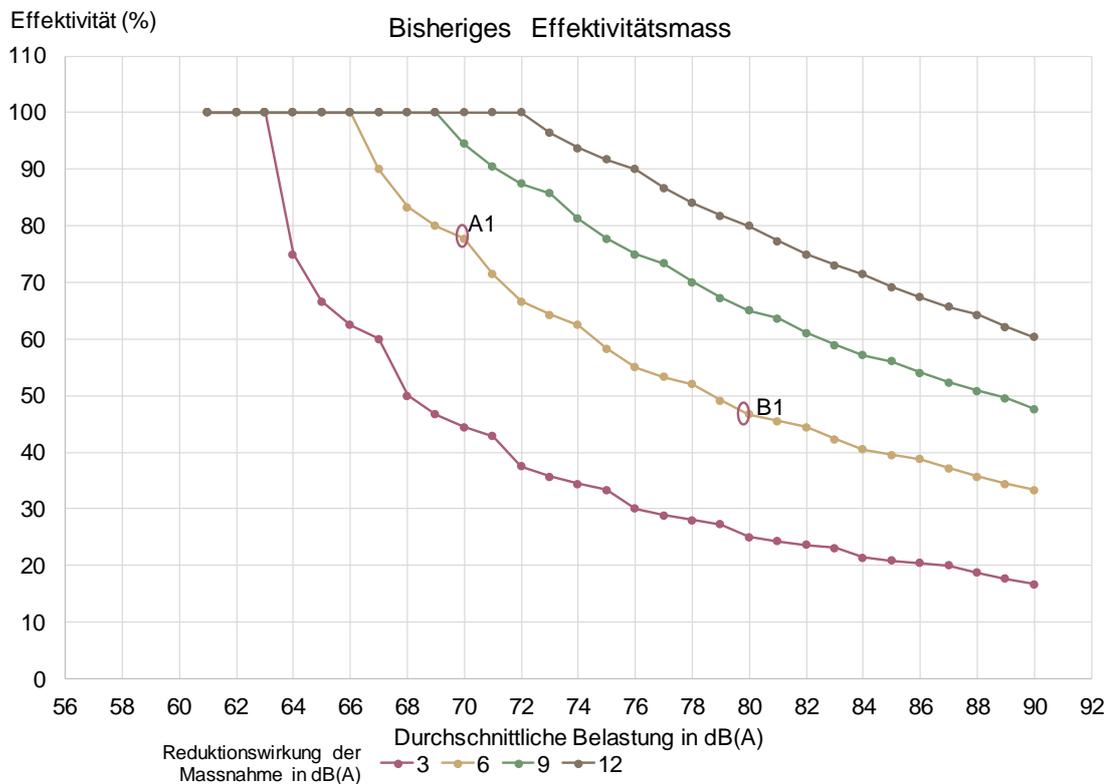
⁹⁹ Es ist empfehlenswert, eine Grenze zu definieren, ab dem der Wegfall dieses zweiten Schritts in der Regel begründet werden kann. Anhaltspunkte für die Festlegung kann die folgende Berechnung geben: Die Fallbeispiele zeigen, dass der Mietzinsnutzen je nach Fallbeispiel rund 40-70% des Gesamtnutzens ausmachen. Eine Reduktion des Mietzinsnutzens um maximal 50% würde somit den Gesamtnutzen um 20-35% reduzieren. Bei einer Effektivität von 75 und ansonsten gleichen Bedingungen (c.p.) würde sich der WTI (gemäss bisheriger Formel) dadurch ebenfalls um 20-35%-Punkte reduzieren. Um Fehlentscheide statistisch möglichst auszuschliessen, müsste die obige Grenze bei einem WTI von 0.65 angesetzt werden. Unter Verwendung der Formel mit maximalem Effektivitätszuschlag von 0.75 müsste er bei einem WTI von etwa 0.84 oder tiefer liegen.

Das Effektivitätsmass hat dabei folgende Eigenschaften:

- Beim aktuellen Effektivitätsmass hat das Ausgangsniveau der Lärmbelastung in gewisser Weise einen adversen Effekt: Je höher das Ausgangsniveau der Lärmbelastung (ohne Massnahme), desto geringer ist bei Realisierung der gleichen Lärmschutzwand mit der gleichen Reduktion der Lärmimmission die berechnete Effektivität. Je geringer demgegenüber die Ausgangsbelastung ist, desto schneller wird eine Effektivität von 100% erreicht.
- Ein ähnlicher Effekt ist bei Lärmschutzwänden im Innerortsbereich bzw. bei Hochhäusern festzustellen. Je höher die Zahl der Etagen ist, desto geringer ist bei ansonsten gleicher Lärmschutzwirkung einer Massnahme die Effektivität einer Lärmschutzwand.

Die folgende Abbildung zeigt anhand eines fiktiven Beispiels die Ergebnisse des bisherigen Effektivitätsmasses für Kombinationen des Lärmausgangsniveaus und einer angenommenen Lärmreduktionswirkung in dB(A) für eine stets gleiche Massnahme vor Ort. Die gelbe Linie zeigt dabei die Effektivität einer Massnahme mit Wirkung -6 dB(A) in Abhängigkeit der Belastung in der Ausgangslage, die übrigen Kurven weisen die Effektivität für eine kleinere oder grössere Reduktion der Lärmimmission aus.

Abbildung 7-23: Bisheriges Effektivitätsmass nach Ausgangsniveau der Lärmbelastung (horizontale Achse) und Wirkung der Lärmschutzmassnahme (einzelne Kurven)



Die Abbildung veranschaulicht den oben erwähnten unerwünschten Effekt:

- Bei einer durchschnittlichen Lärmbelastung von 70 dB(A) in der Ausgangslage erreicht eine Massnahme mit 6 dB(A) Lärmreduktion eine Effektivität von 77% (roter Kreis A1 auf gelber Linie).
- Bei einer Ausgangsbelastung von durchschnittlich 80 dB(A) erreicht dieselbe Massnahme mit einer identischen Lärmreduktion von 6 dB(A) eine Effektivität von 47% (roter Kreis B1 auf gelber Linie).

Dieselbe Massnahme wird somit bei einer «guten» Ausgangslage deutlich besser beurteilt, als bei einer «besorgniserregenden» Ausgangslage.

b) Änderung des Effizienzmasses mit der neuen Methodik

Zur Berechnung der **Effizienz** wird in der bisherigen WTI-Methodik die Lärmbelastung in Lärmklassen eingeteilt, um je nach Höhe des überschrittenen Grenzwertes (AW, IGW, PW) einen höheren Mietzinsabschlag zu wählen. Je nach Empfindlichkeitsstufe werden dabei unterschiedliche Grenzwerte angewendet. In diesem Sinne wird eine Abstufung vorgenommen, indem Lärmbelastungen auf höherem Niveau einen stärkeren Mietzinsabschlag erfahren als Lärmbelastungen auf einem tieferen Niveau.

Die neue Methodik der Nutzenberechnung sieht auf Basis der empirischen Befunde hingegen eine von den Immissionsgrenzwerten der LSV unabhängige Berechnung der Nutzen vor. Der oben beschriebene Aspekt der Abstufung nach Lärmniveau fliesst deshalb nicht mehr in die Nutzenberechnung ein. Auch die Empfindlichkeitsstufen spielen aufgrund der empirischen Befunde in der neuen Methodik keine Rolle mehr. Neu wird ein fester Abschlag pro dB(A) (bei Mietzinsverlusten) sowie ein fester Kostensatz (Gesundheitskosten) pro dB(A)*Person über einem Schwellenwert berechnet. Damit entfällt die Abstufung nach Höhe des überschrittenen Grenzwertes (AW, IGW, PW).

7.7.2 Alternative Berechnungsarten für die Effektivität

Die durch den Auftraggeber formulierten Ziele für die Gestaltung alternativer Effektivitätsmasse sind:

- Das Effektivitätsmass soll aussagekräftiger werden bezüglich «**Schutz des Menschen**», wie es das USG / die LSV vorsieht. Der Fokus soll verstärkt auf Personen statt Flächen gelegt werden.
- Beim Effektivitätsmass soll die **absolute Höhe der Überschreitung** des Grenzwertes ohne Massnahme stärker gewichtet werden.

Dabei wurden drei Ansätze zur verfolgt:

- **Personengewichtete Grenzwertüberschreitung:** Statt der flächengewichteten Ermittlung der Grenzwertüberschreitungen erfolgt in Zukunft die Gewichtung nach der Anzahl der betroffenen Personen. Dies bringt besser zum Ausdruck, dass mit den Lärmschutzmassnahmen Menschen geschützt werden sollen und nicht Gebäudeflächen.

- **Niveau-gewichtete Überschreitung:** Die Grenzwertüberschreitung nach Empfindlichkeitsstufen in dB(A) ohne und mit Massnahme wird nicht mit der Fläche, sondern mit dem absoluten Niveau der Lärmbelastung mit Massnahme und ohne Massnahme gewichtet. Weil sich durch eine Massnahme sowohl das absolute Niveau als auch die Grenzwertüberschreitung reduziert, werden Lärmreduktionen auf niedrigerem Niveau weniger stark gewichtet.
- **Niveaufaktor:** Statt das Effektivitätsmass anzupassen, wird zum bisherigen Effektivitätsmass ein Faktor in % addiert, der das Lärmbelastungsniveau in der Ausgangslage (ohne Massnahme) berücksichtigt. Dadurch wird ab einem bestimmten Niveau der Lärmbelastung die Effektivität angehoben.

Nachstehend werden diese drei Ansätze mit ihren Vor- und Nachteilen diskutiert.

a) Personengewichtete Grenzwertüberschreitung

Wird die Grenzwertüberschreitung statt mit Flächen mit Personen gewichtet, so hat dies folgende Auswirkungen:

- Wird ein **konstanter Umrechnungsfaktor** von Gebäudeflächen in Personen (z.B. 3 Personen pro Wohneinheit bzw. pro Fläche) verwendet, so ergibt sich das exakt gleiche Ergebnis wie beim bisher verwendeten flächengewichteten Mass. Um eine Differenzierung zu erreichen, könnten Erfahrungswerte zur üblichen Wohndichte in der beurteilten Situation / dem jeweiligen Gemeindetyp verwendet werden.
- Werden die Personen **georeferenziert den Gebäuden zugewiesen**, so ergibt sich ein Unterschied zum flächengewichteten Mass. Damit würde die aktuelle Wohnsituation abgebildet. Bei einer georeferenzierten Zuweisung von Personen zu Flächen müsste für Geschäftsliegenschaften ein anderer Ansatz verwendet werden (evtl. Beibehaltung der Flächengewichtung), da den Geschäftsliegenschaften statistisch keine Einwohner zugewiesen werden. Bei einer Abstützung auf die aktuelle Wohnsituation gilt es zudem zu beachten, dass damit ein gewisser «Zufälligkeitfaktor» in die Beurteilung einfließt, weil sich die Zahl der betroffenen Personen bei einem Mieterwechsel ändern kann.

Sowohl die Differenzierung von Erfahrungswerten nach Situation / Gemeindetyp wie auch die Abstützung auf die tatsächliche Belegung der Wohnungen würde von der bisherigen Verwendung von Schweizer Durchschnittswerten abweichen, welche vor allem vor dem Hintergrund der «Gleichbehandlung» erfolgte.

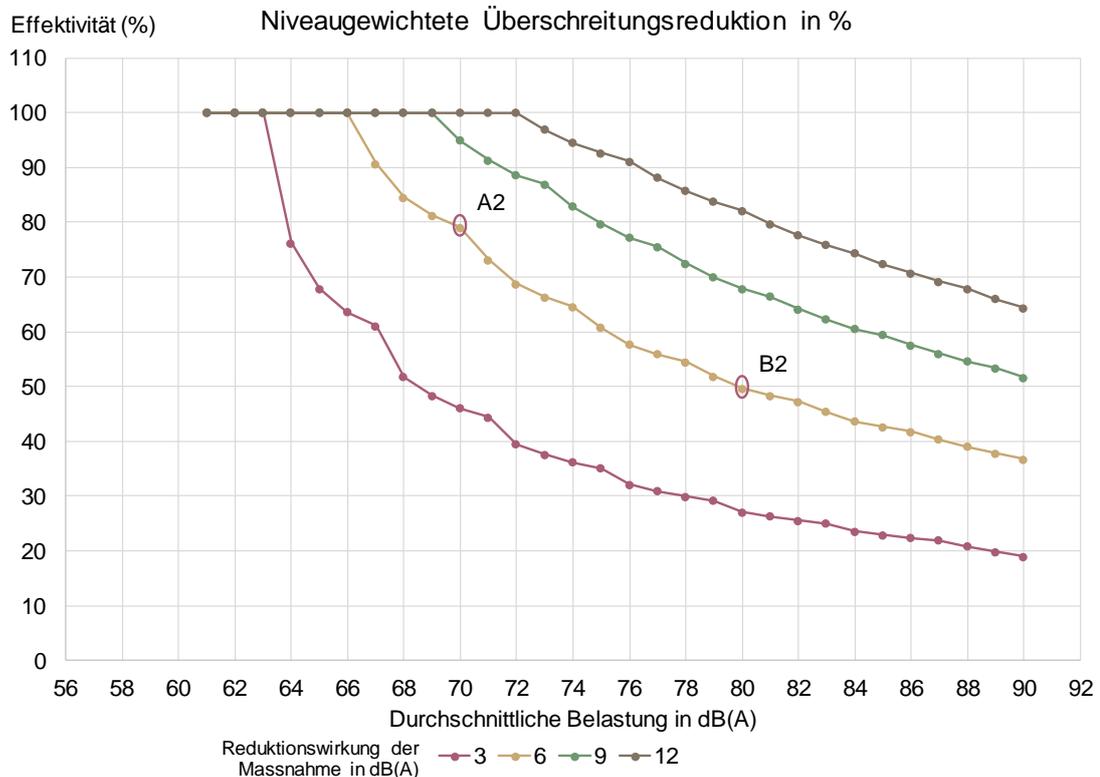
b) Niveaugewichtete Überschreitungsreduktion

Für die Implementierung dieses Ansatzes wird die Effektivität nach dieser Formel berechnet:

$$\frac{\sum \text{Lärm}_{ohne} \times \text{Grenzwertüberschreitung}_{ohne} - \sum \text{Lärm}_{mit} \times \text{Grenzwertüberschreitung}_{mit}}{\sum \text{Lärm}_{ohne} \times \text{Grenzwertüberschreitung}_{ohne}}$$

Die folgende Abbildung 7-24 zeigt das resultierende Effektivitätsmass in Abhängigkeit von Ausgangsniveau und Reduktionswirkung der betrachteten Massnahme.

Abbildung 7-24: Effektivitätsmass der niveaugewichteten Überschreitungsreduktion abhängig von Ausgangsniveau und Reduktionswirkung



Im Vergleich zur Abbildung 7-23 fällt auf, dass die resultierenden Kurven leicht nach oben gewölbt sind. Am Grundproblem ändert sich jedoch nichts: Die gleiche Reduktionswirkung einer Massnahme erhält bei hoher Ausgangsbelastung einen tieferen Effektivitätswert als wenn bereits in der Ausgangslage die Lärmimmission vergleichsweise gering ist.

c) Niveaufaktor

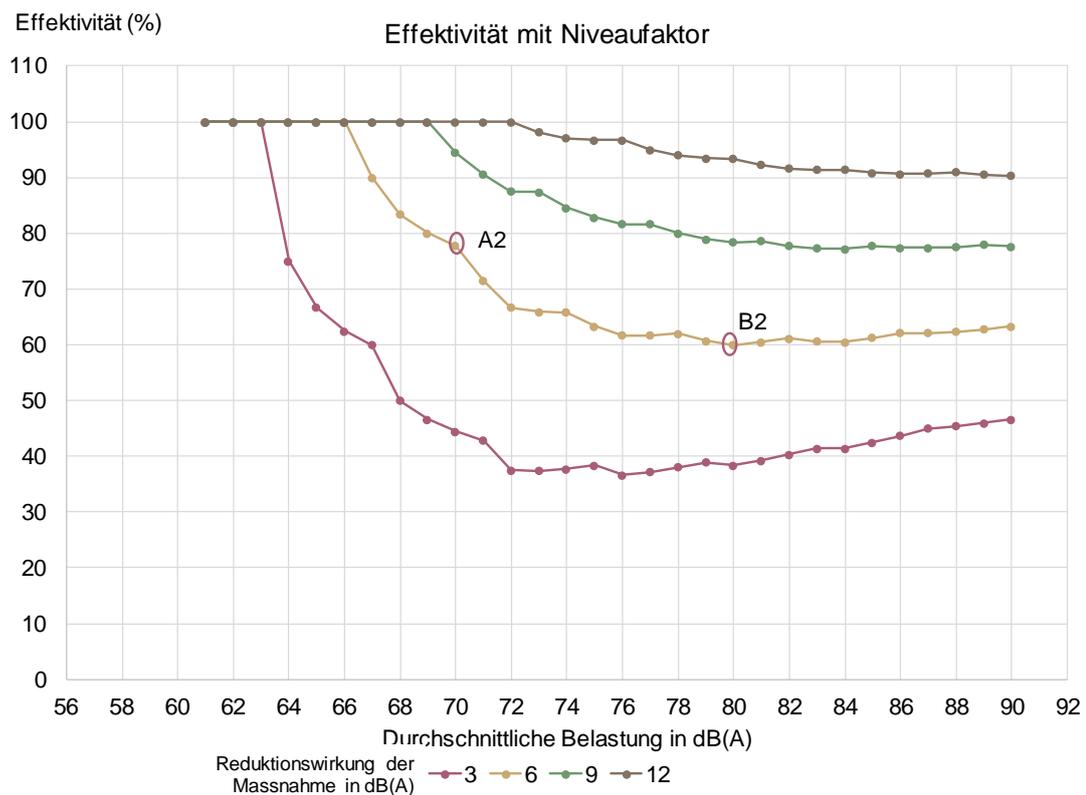
Durch Einführung eines Niveaufaktors verläuft die Effektivitäts-Ausgangslärmniveau-Kurve zunächst bis zum Erreichen der unteren Schwelle (alles ist unterhalb dem IGW belastet) gleich wie beim bisherigen Mass. Ab Erreichen eines bestimmten Ausgangsniveaus verläuft die Kurve flacher. Bei einer sehr grossen Wirkung der Lärmschutzmassnahme und einem sehr hohen Ausgangsniveau kann die Kurve sogar wieder ansteigen.

Im nachfolgenden Beispiel ist der Niveaufaktor zwischen 0-50% für den Bereich zwischen 60 und 90 dB(A) definiert. Beträgt die flächengewichtete Lärmbelastung im Durchschnitt 60 dB(A), liegt der Faktor bei 0%. Beträgt die Lärmbelastung 90 dB(A) oder höher, liegt der Faktor bei

50%. Dazwischen wird linear interpoliert. Der Faktor wird zum ursprünglichen Effektivitätsmass hinzuaddiert.

Die folgende Abbildung zeigt für das wiederum gleiche fiktive Beispiel (ceteris paribus) die Effektivität mit Niveaufaktor in Abhängigkeit der Ausgangsbelastung und der Massnahmenwirkung.

Abbildung 7-25: Effektivität mit Niveaufaktor abhängig von der Ausgangsbelastung und der Reduktionswirkung der Massnahme



Die Festlegung des abgestuften Bereichs (60 bis 90 dB(A)) sowie der Bandbreite (0-50%) müsste in einem gemeinsamen (politischen) Prozess unter Abwägung der Auswirkungen erfolgen.

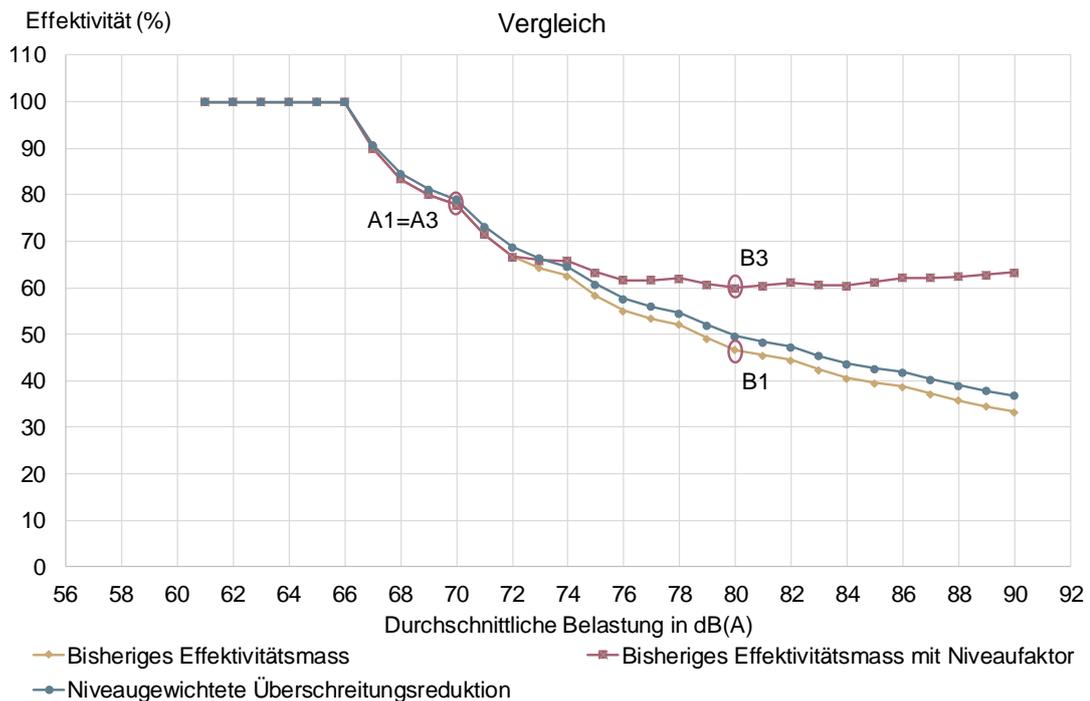
7.7.3 Vergleich der untersuchten Effektivitätsmasse

Die folgende Abbildung zeigt die drei Effektivitätsmasse im Vergleich für eine Lärmreduktion von 6 dB(A). Die Abbildung zeigt Folgendes:

- Eine Lärmreduktion von durchschnittliche 6 dB(A) bei einem Ausgangsniveau von 70 dB(A) hat eine Effektivität mit Niveaufaktor von 77% (roter Kreis A1/A3, wie bisher). Das Effektivitätsmass mit Niveaugewichtung liegt immer geringfügig über dem bisherigen Effektivitätsmass. Bei 70 dB(A) liegt der Wert bei 79%.

- Die gleiche Wirkung bei einem Ausgangsniveau von 80 dB(A) erreicht eine Effektivität mit Niveaufaktor von 60% (roter Kreis B3). Im ursprünglichen Mass beträgt die Effektivität in diesem Fall 47% (roter Kreis B1). Mit Niveaugewichtung liegt der Wert bei knapp 50%.

Abbildung 7-26: Vergleich zwischen Effektivität mit Niveaufaktor und bisherigem Effektivitätsmass bei Reduktionswirkung von 6 dB(A)



7.7.4 Fazit

Aus der Analyse der drei alternativen Effektivitätsmassen lässt sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Bei Gewichtung mit Personen statt Flächen lässt sich das Effektivitätsmass zwar besser kommunizieren, weil der Schutz der Personen in den Vordergrund gerät. Es besteht aber die Gefahr, dass insbesondere bei Geschäftsliegenschaften eine neue Kommunikationsschwierigkeit entsteht, wenn man auch diesen pro Einheit je 3 Personen anrechnet. Der Wegfall der Geschäftsliegenschaften aus dem Effektivitätsmass wäre jedenfalls nicht zu empfehlen.
- Wird ausgehend vom bisherigen Effektivitätsmass (0-100%) das Niveau in der Ausgangslage gewichtet, resultiert bei ansonsten gleichen Annahmen jeweils eine höhere Effektivität. Dadurch werden leicht mehr Massnahmen einen WTI > 1 erreichen.

- Mit dem Niveaufaktor können je nach Annahme zum Bereich (im Beispiel 60-90 dB(A)) und zur maximalen Höhe des Faktors (im Beispiel 50%) andere Belastungs-Wirkung-Kurven erzeugt werden. Ab einem bestimmten Niveau der Belastung nimmt dabei die Effektivität nicht mehr ab bzw. sogar wieder zu. Dass die Effektivität bei einem sehr tiefen Ausgangsniveau zunächst stark abfällt, lässt sich dadurch nicht verhindern.

Grundsätzlich kann somit der Schutz der Menschen besser abgebildet und das Niveau der Lärmbelastung einfließen. Aus ökonomischer Sicht spricht beim einheitslosen Effektivitätsmass zudem nichts gegen die höhere Gewichtung einer höheren Lärmbelastung. Mit dem (teilweisen) Festhalten am bisherigen Effektivitätsmass lassen sich die eingangs erwähnten Ziele des BAFU aber aus unserer Sicht noch nicht wie gewünscht erreichen. Der nachfolgende Exkurs zeigt als Ergänzung eine Möglichkeit auf, die vom bisherigen Effektivitätsmass deutlich Abstand nimmt und die Ziele unter Umständen besser erreichen kann.

Bevor eine Empfehlung zu einem alternativen Effektivitätsmass abgegeben werden kann, müssten die Auswirkungen auf die Fallbeispiele und damit auf den WTI-gestützten Investitionsentscheid aufgezeigt werden.

Exkurs: «Synthetische» Effektivität ohne Bezug zum bestehenden Effektivitätsmass

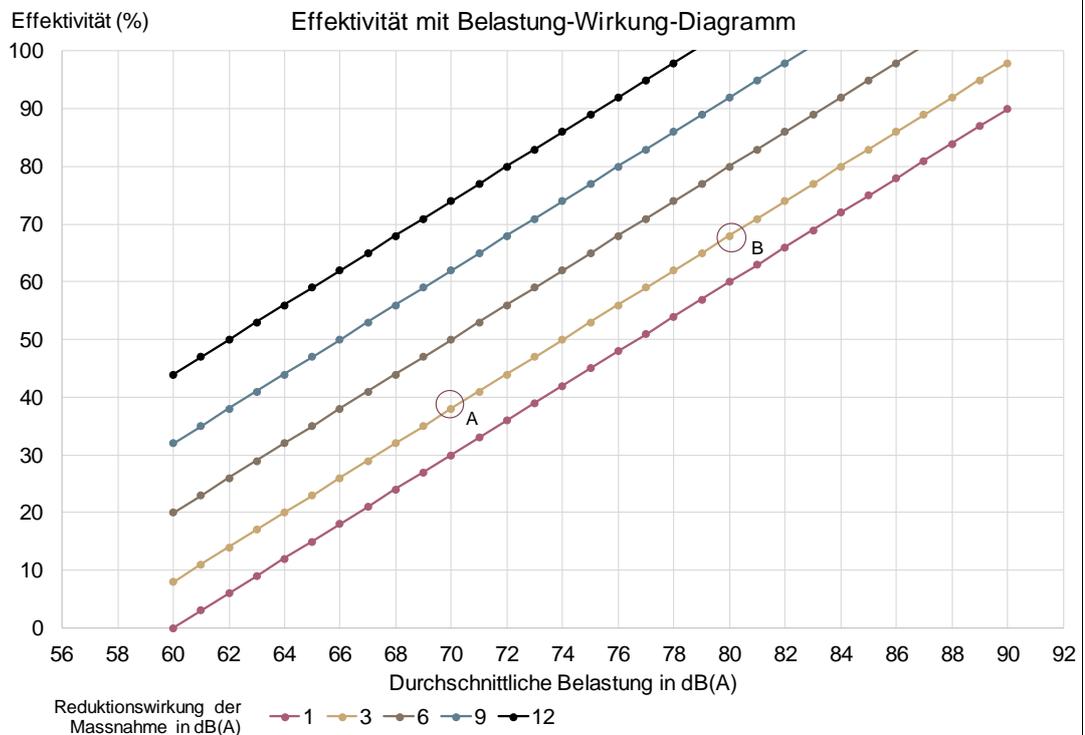
Es ist denkbar, sich bei Berechnung der Effektivität vollständig vom bisherigen Gedanken der Zielerreichung zu lösen und stattdessen ein Effektivitätsmass einzuführen, das direkt als Funktion von Wirkung der Massnahme und Belastung in der Ausgangslage formuliert ist.

$$\text{Effektivität} = f(\text{Wirkung}, \text{Belastung})$$

Die Effektivität wird bei diesem Ansatz unabhängig von allfälligen Grenzwerten festgelegt. Damit werden beispielsweise alle Empfindlichkeitsstufen gleichbehandelt und neue und bestehende Anlagen gleich beurteilt. Theoretisch wäre es selbstverständlich möglich, in dieses Schema auch die Empfindlichkeitsstufe sowie die Differenzierung bestehende / neue Anlagen zu integrieren.

Die folgende Abbildung zeigt eine denkbare Modellierung. Die Idee, dass eine höhere Belastung in der Ausgangslage und eine bessere Wirkung der Massnahme auch zu einer besseren Beurteilung führen, wird darin strikt umgesetzt. Die Kurven können mit dieser Methode grundsätzlich beliebig anders gestaltet werden.

Abbildung 7-27: Umsetzung mittels Funktion aus Belastung und Wirkung



Die Effektivität einer Massnahme in einer bestimmten Situation lässt sich an den Kurven ablesen. Bei einer Massnahme mit Reduktionswirkung von 3 dB(A) kann entlang der gelben Kurve die Effektivität abgelesen werden. Beträgt die durchschnittliche Belastung in der Ausgangslage 70 dB(A), liegt die Effektivität bei 48% (Punkt A). Bei einer Belastung von 80 dB(A) liegt die Effektivität bei 68% (Punkt B).

Die Auswirkungen dieser neuen Methode auf den WTI und damit auf die Investitionsentscheide wären voraussichtlich gross, weil bei Situationen mit niedriger Belastung viele Massnahmen mit bisher hoher Effektivität neu eine niedrige Effektivität aufweisen würden. Umgekehrt würden Fälle mit einer hohen Ausgangsbelastung gegenüber der bisherigen Berechnung generell eine höhere Effektivität aufweisen. In welcher Weise die Investitionsentscheide sich insgesamt verändern würden, müsste jedoch mit einer entsprechenden Analyse anhand konkreter Beispiele genauer untersucht werden.

8 Zusammenfassung und Empfehlungen

Nachfolgend fassen wir die empfohlenen Anpassungen noch einmal zusammen. Wir unterscheiden dabei zwischen Empfehlungen zu

- Periodische Überprüfung der Methodik (Abschnitt 8.1)
- Anpassungen auf der Nutzenseite (Abschnitt 8.2),
- Anpassungen auf der Kostenseite (Abschnitt 8.3)
- Anpassungen aufgrund der Klärung der methodischen Zusatzfragen (Abschnitt 8.4 bis 8.9).

8.1 Periodische Überprüfung der WTI-Methodik

Die WTI-Methodik hat zum Ziel, die wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von baulichen Lärmschutzmassnahmen zu bestimmen. Dazu verwendet sie ein Mass für die wirtschaftliche Effizienz sowie ein Mass für die rechtliche Zielerreichung (Effektivität) und gewichtet beide Kriterien im Sinne einer Interessenabwägung.

Damit insbesondere die Berechnung der Effizienz, also von Nutzen und Kosten der Lärmschutzmassnahmen, ihre **Glaubwürdigkeit** behalten, muss diese so gut wie möglich den aktuellen wissenschaftlichen Forschungsstand abdecken. Die Glaubwürdigkeit der Methode ist wichtig, sowohl bei den vom Lärm betroffenen als auch bei allfälligen Beurteilungen im Rahmen von Einsprachen und denkbaren rechtlichen Auseinandersetzungen.

Neben der Glaubwürdigkeit der Methode sind selbstverständlich weitere Gesichtspunkte bei der Aktualisierung der Methode zu berücksichtigen. So sollte die Methode insbesondere eine gewisse **Stabilität** und eine hohe **Verlässlichkeit** aufweisen. Dies einerseits, um im Rahmen von rechtlichen Auseinandersetzungen als «gerichtstauglicher» Massstab brauchbar zu sein. Andererseits sollen aufgrund des WTI-Ergebnisses realisierte Lärmschutzmassnahmen auch einen gewissen Investitionsschutz erhalten. Würde der Begriff der «wirtschaftlich verhältnismässigen Massnahme» jedes Jahr durch methodische Anpassungen neu justiert, könnten die mit der Methode getroffenen Entscheide rasch in Frage gestellt werden. Insbesondere wäre es weder volkswirtschaftlich sinnvoll, noch würde es von der Politik akzeptiert, wenn aufgrund häufiger methodischer Anpassungen laufend Ergänzungen an den Lärmschutzmassnahmen vorgenommen werden müssten.

Ebenfalls eine Rolle spielen sollte der mit der Aktualisierung und der mit der Anwendung der Methodik verbundene **Aufwand**.

Empfehlung: Es wird empfohlen, methodische Anpassungen nur mit Umsicht und in ihrer zeitlichen Folge mit Bedacht vorzunehmen. Angesichts des raschen Fortschritts in Wissenschaft und Praxis wird eine Überprüfung und bei Bedarf Anpassung der Methodik nach jeweils spätestens 10 Jahren als angemessen erachtet.

8.2 Anpassung der Methodik auf der Nutzenseite

a) Empfohlene Anpassungen

Abbildung 8-1: Empfohlene Anpassungen auf der Nutzenseite

	Bisherige Methodik	Vorschlag neue Methodik
Mietzinsnutzen	<ul style="list-style-type: none"> – Mietzinsverluste über LSV-Grenzwerten – Mietzinsabschlag abgestuft nach Lärmklassen (0.8%-1.0%) 	<ul style="list-style-type: none"> – Mietzinsverluste ab Überschreitung Schwellenwert (40 dB(A) Nacht / 50 dB(A) Tag – Einheitlicher tieferer Mietzinsabschlag von 0.25% Strassenlärm und 0.27% Schienenlärm
Gesundheitsnutzen	<ul style="list-style-type: none"> – Kein Einbezug von Gesundheitsschäden 	<ul style="list-style-type: none"> – Einbezug von Gesundheitsschäden ab Schwellenwert 48 dB(A) L_{DEN}

b) Auswirkung der Anpassungen

Die untersuchten methodischen Anpassungen bei Mietzinsnutzen sowie die Hinzunahme der Gesundheitsnutzen führen bei **Lärmschutzwänden** dazu, dass

- tendenziell weniger Lärmschutzwände in nicht-dichter Besiedlung und in ES II
- sowie tendenziell mehr Lärmschutzwände in dichter Besiedlung in ES III

als «verhältnismässig» eingestuft werden. Die neu nicht mehr verhältnismässigen Fallbeispiele und die neu verhältnismässigen Fallbeispiele halten sich dabei in etwa die Waage, wenn eine ausreichende Bautiefe (rund 6-8 Baureihen) erreicht wird. Bei mittleren Kosten und einer geringeren Bautiefe werden in der Tendenz mit der neuen Methodik weniger Fallbeispiele realisiert als mit der alten Methodik (-14% bei einer Bautiefe von 2 Reihen, -4% bei 4 Reihen).

Die **lärmmarmen Beläge** weisen auf Kantonsstrassen bereits heute bei einer mindestens «dichten» Besiedlung und einer Bautiefe von mindestens 4 Baureihen eine hervorragende Effizienz auf. Auf Nationalstrassen (SDA8; -1dB) erreichen sie aber trotz hoher Effizienz manchmal keinen ausreichenden WTI, weil die Effektivität zu gering ist. Diese Fälle zeigen sich vermehrt mit der neuen Methodik, weil die Effizienz der lärmmarmen Beläge meist leicht zurück geht.¹⁰⁰

Durch die tieferen Schwellenwerte für Mietzinsverluste muss in der Berechnung des WTI ein grösserer Perimeter berücksichtigt werden. Dieser Perimeter sollte bei der Berechnung des WTI in der Regel (vgl. hierzu Abschnitt 8.4) vollständig ausgeschöpft werden. Ein Verzicht auf die Erweiterung des Perimeters in der Lärmberechnung wäre problematisch, weil dann nur ein Teil des Nutzenpotenzials in die Beurteilung einfließen würde und an sich effiziente Massnahmen nicht realisiert würden. Welche Auswirkungen dies haben kann, zeigt die Analyse der Fallbeispiele, abgestuft nach der einbezogenen Bautiefe.

¹⁰⁰ Wir werden in Abschnitt 8.6 jedoch aufzeigen, wie sich dieses Problem vermeiden lässt.

c) Würdigung

Empfehlung: Die Anpassungen zur Berechnung auf der Nutzenseite widerspiegeln die aktuellsten methodisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den lärmbedingten Verkehrskosten in der Schweiz. Die letzte Aktualisierung (2006) ist bereits mehr als 10 Jahre her. Seither hat die ökonomische und epidemiologische Lärmforschung bedeutende Fortschritte erzielt. Die Anpassungen bzw. Aktualisierungen sollten deshalb umgesetzt werden, auch wenn tendenziell bei geringer Bautiefe und Siedlungsdichte sowie in ES II weniger Massnahmen realisiert werden, dafür etwas mehr bei hoher Siedlungsdichte in ES III.¹⁰¹

8.3 Flexibilisierung und Präzisierung auf der Kostenseite

a) Empfohlene Anpassungen

	Bisherige Methode	Vorschlag neue Methode
Lärmschutzwände		
– Investitionskosten	– 900 CHF/m ² oder 1'700 CHF/m ²	– Flexibilisierung oder Definition zusätzlicher Kostenkategorien
– Lebensdauer	– 30 Jahre	– Begründete Abweichung im Einzelfall ermöglichen, z.B. auf 40 Jahre
– Betriebs- und Unterhaltskosten	– 1.0%	– Begründete Abweichung im Einzelfall ermöglichen, bei hohen Ansprüchen an Gestaltung oder bei Spezialmaterial
Lärmarme Beläge		
– Investitionskosten	– 36 CHF/m ² (oder 34 CHF/m ²)	– Flexibilisierung oder Definition zusätzlicher Kostenkategorien (gleiches gilt für Referenzbelag)
– Lebensdauer	– 15 Jahre	– Begründete Abweichung ermöglichen, z.B. auf 8-12 Jahre (z.B., wenn oberste Belagsschicht eine kürzere Lebensdauer hat)
– Betriebs- und Unterhaltskosten	– 1.0%	– Keine Anpassung
Kapitalzinssatz	– 3.0%	– Anpassung auf 1.9%

b) Auswirkung der Anpassungen

Die Umfrage unter den Kantonen zu den Kosten der Lärmschutzmassnahmen hat gezeigt, dass die Bandbreite der in der Realität anfallenden Kosten sowie der unterstellten Lebensdauern gross ist. Dies liegt einerseits daran, dass unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen, unterschiedliche Voraussetzungen anzutreffen sind (innerorts/ausserorts, Bebauung,

¹⁰¹ Dass insbesondere hohe Siedlungsdichten verstärkt geschützt werden ist auch im Interesse des neuen Raumplanungsgesetzes RPG. Dieses möchte die Innenverdichtung an gut mit dem Gesamtverkehr erschlossenen Lagen fördern und gleichzeitig die zusätzliche Zersiedelung verhindern. Dem Lärmschutz würde hierdurch zusätzlich auch eine gewisse Lenkungsfunction in der Siedlungsentwicklung und Raumplanung zugestanden.

Komplexität, Gestaltungsansprüche) und verschiedene Abgrenzungen für die Kosten vorgenommen werden.

Geprüft wurde auch, welchen Einfluss die Kostenannahmen auf die Investitionsentscheide mit der neuen Methodik zur Nutzenbemessung haben. Natürlicherweise sinkt der WTI, wenn die Kosten von Lärmschutzmassnahmen steigen, wenn hohe Kapitalzinssätze angelegt und wenn eine kürzere Lebensdauer angenommen wird. Vor allem bei lärmarmen Belägen kann eine Reduktion der angenommenen Lebensdauer von 15 auf 10 Jahre dazu führen, dass die Effizienz (auch wenn sie > 1.0 ist) nicht ausreicht, um mit der geringen Effektivität einen WTI > 1.0 zu erreichen.¹⁰² Für die Lärmschutzwände dürfte eher eine Erhöhung der Lebensdauer von 30 auf bis zu 40 Jahre zur Diskussion stehen.

Durch die Anpassung des Kapitalzinssatzes von 3.0% auf 1.9% wird die Effizienz der Fallbeispiele grundsätzlich leicht erhöht. Die Auswirkungen auf die Investitionsentscheide sind bei den untersuchten Fallbeispielen gering.

c) Würdigung

Empfehlung: Wir raten von einer strikten Anwendung der im WTI-Tool vorgegebenen Kostenangaben und Lebensdauern ab. Wir empfehlen stattdessen bezüglich der Lebensdauer eine fundierte Abweichung von der Standardannahme zu ermöglichen. Bezüglich der Kosten sollte entweder eine vollständige Flexibilisierung hin zu projektspezifischen Grobkostenschätzungen (Verzicht auf Normkostensätze) oder eine Erweiterung um zusätzliche Kostenkategorien ins Auge gefasst werden. In jedem Fall sollte mindestens eine präzisierende Abgrenzung der ein-zubeziehenden Kostenbestandteile vorgenommen werden.

Bei den Lärmschutzwänden liesse sich durch eine Erweiterung der verfügbaren Kostenkategorien um eine «mittlere Ausführung» und eine Erhöhung der Kosten für die «komplexe Ausführung» die Bandbreite der realen Kosten, wie sie von den Kantonen gemeldet wurden, besser abdecken. Dies müsste begleitet werden durch eine Anleitung, wann welcher Kostensatz zum Einsatz kommen soll. Aus rein ökonomischer Warte aus wäre es noch besser, für die Berechnung des WTI eine dem Einzelfall gerecht werdende Grobkostenschätzung für die geprüfte Lärmschutzmassnahme erstellen zu lassen.

Der Kapitalzinssatz sollte auf 1.9% angepasst werden. Dieser widerspiegelt das aktuell geltende bzw. für die nächsten rund 5-10 Jahre erwartete ökonomische Umfeld.

8.4 Mehraufwand durch grösseren Perimeter lässt sich eingrenzen

Die Methodikänderung hat aufgrund der tieferen Schwellenwerte für die Mietzinsnutzen zur Folge, dass höhere Anforderungen an die Ermittlung der Lärmwirkung und an Lärmberechnungen im Vorfeld der Realisierung der Massnahmen gestellt werden. Dies führt zu Mehraufwand

¹⁰² Wir werden in Abschnitt 8.6 aufzeigen, dass sich dieses Problem mit einer Anpassung des WTI vermeiden lässt, so dass – unabhängig von der Effektivität – alle Lärmschutzmassnahmen realisiert werden, deren Nutzen grösser oder gleich ihrer Kosten sind.

bei der Lärmberechnung, weil mehr Gebäude im Feld erhoben und mehr Daten in das Simulationsmodell eingegeben werden müssen.

Empfehlung: Der Mehraufwand kann durch ein zweistufiges Vorgehen begrenzt werden. Dafür ist in der ersten Stufe die Lärmbelastung bis zu einem Grenzwert von 45 dB(A) nachts (55 dB(A) tags) zu erheben. Liegt der so berechnete WTI knapp unter 1.0 muss in einer zweiten Stufe die Perimeterausdehnung auf 40 dB(A) nachts (50 dB(A) tags) vollzogen werden. Wir empfehlen dabei, einen Verzicht auf die zweite Stufe gut und transparent zu begründen und dabei eine Sicherheitsmarge festzulegen, um Fehlentscheide möglichst zu vermeiden.

8.5 Kein Handlungsbedarf aus Vergleich mit übrigen Methoden zur Bewertung lärmbedingter Verkehrskosten

Die Analyse der verschiedenen beim Bund angewendeten Methoden hat gezeigt, dass sie sich grundsätzlich auf die gleichen methodisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse stützen. Es hat bezüglich der lärmbedingten Gesundheitsschäden und Mietzinsausfälle in den letzten 5-10 Jahren neue wissenschaftliche Erkenntnisse gegeben, die sich noch nicht in allen Berechnungsanleitungen niedergeschlagen haben. In den nächsten Jahren werden die neuesten Erkenntnisse auch in die massgebenden Bewertungsmethoden des VSS, des BAV (NIBA) sowie des ASTRA (NISTRA) einfließen. Wie genau Kosten und Nutzen in der Methode einfließen sollen (monetarisiert / nicht-monetarisiert, quantitativ / qualitativ / deskriptiv), hängt auch vom Zweck der Bewertungsmethoden und von dessen Einsatzgebiet ab.

Empfehlung: Aus dem Vergleich der eingesetzten Methoden ergibt sich kein unmittelbarer Handlungsbedarf für den WTI. Es wäre aber wünschenswert, wenn sich die Bewertungsmethoden auch in Zukunft auf die gleichen methodisch-wissenschaftlichen Grundlagen abstützen würden.

8.6 Realisierung effizienter Massnahmen dank Effektivitätszuschlag

Insbesondere für lärmarme Beläge auf Nationalstrassen konnte gezeigt werden, dass die WTI-Methodik dazu führen kann, dass an sich höchst effiziente Massnahmen aufgrund der geringen Effektivität verhindert werden.

Empfehlung: Diesem ökonomischen Widerspruch könnte begegnet werden, indem die Formel zur Berechnung des WTI angepasst wird. Statt der multiplikativen Verknüpfung von Effizienz und Effektivität empfehlen wir einen Effektivitätszuschlag von 0.75 einzuführen, der mit der Effektivität in bisheriger Messweise (in %) multipliziert und zur Effizienz addiert wird. Dadurch werden effiziente Massnahmen immer mindestens einen WTI von 1.0 aufweisen.¹⁰³

¹⁰³ Mit dem so konzipierten Effektivitätszuschlag lässt sich wie bisher sicherstellen, dass – im Sinne der Gesetzgebung zum Lärmschutz – auch Massnahmen realisiert werden, die bei einer Effektivität von 100% nur eine Effizienz von 0.25 erreichen.

8.7 Alternative Effektivitätsmasse stehen bereit

Es wurden im Hauptteil des Berichts verschiedene Konzepte für alternative Effektivitätsmasse aufgezeigt:

1. Bisheriges Effektivitätsmass, aber Gewichtung mit Personen statt Flächen
2. Niveaugewichtete Reduktionswirkung
3. Ergänzung mit Niveaufaktor
4. Neuer Ansatz mit Abstufung der Effektivität nach Lärmbelastung in der Ausgangslage und erzielter Reduktionswirkung

Mit der Personengewichtung (1) kann dem Schutz des Menschen mehr Gewicht verliehen werden. Es können aber je nach Umsetzung auch unerwünschte Effekte entstehen, wenn beispielsweise Geschäftsliegenschaften nicht mehr einfließen würden. Zwar wäre es grundsätzlich möglich, Geschäftsliegenschaften weiterhin mit der Geschossfläche zu gewichten. In diesem Fall müsste aber zwei separate Effektivitätsmasse ermittelt werden und über eine zusätzliche Gewichtung zu einem einzigen Mass zusammengeführt werden.

Die untersuchten alternativen Effektivitätsmasse mit Berücksichtigung des Lärmniveaus (Punkt 2 und 3) erzeugen generell gleich hohe oder höhere Werte als das bisherige Effektivitätsmass. Dies führt insgesamt zu mehr Massnahmen mit einem WTI > 1.0. Insgesamt kann aber der adverse Effekt (gleiche Lärmreduktion wird bei niedriger Ausgangsbelastung besser bewertet als bei hoher) zwar vermindert aber nicht behoben werden.

Erst eine strikte Abkehr (4) vom bisherigen Effektivitätsmass mit einer Abstufung der Effektivität nach Lärmbelastung in der Ausgangslage und Reduktionswirkung der Massnahme könnte dieses Problem lösen.

Empfehlung: Der Ersatz der Flächen- mit der Personengewichtung ist eher nicht zu empfehlen, weil in dieser Logik Geschäftsliegenschaften praktisch keinen Platz mehr finden oder ihr Einbezug wiederum schwierige Gewichtungsfragen mit sich bringen würde.

Die Bevorteilung von Lärmschutzmassnahmen bei tiefer Ausgangsbelastung (unerwünschter, adverser Effekt) lässt sich mit den vorgeschlagenen Anpassungen innerhalb der heutigen Berechnungsmethode zwar vermindern, aber nicht beseitigen. Möchte man diesen adversen Effekt vermeiden, müsste ein vollständig neuer Ansatz gewählt werden. Dessen genaue Ausgestaltung und seine Auswirkungen auf die Investitionsentscheide müssten aber noch im Detail untersucht werden.

8.8 Geschäftsliegenschaften sind bei Effektivität berücksichtigt

Der Wert von Geschäftsliegenschaften reagiert gemäss neuesten empirischen Studien nicht auf die Lärmbelastung durch den Verkehr. In der neuen Methodik werden die Geschäftsliegenschaften bei der Nutzenberechnung deshalb nicht mehr einberechnet. Sie fließen aber weiterhin ins Effektivitätsmass ein und sind so weiterhin berücksichtigt.

Empfehlung: Wir empfehlen bezüglich Geschäftsliegenschaften den Erkenntnissen aus der Empirie zu folgen.

8.9 Verzicht auf Berücksichtigung der DALY

Die Berechnung der DALY stellt ein alternatives Vorgehen zur Berechnung der lärmbedingten Verkehrskosten dar. Der Einbezug der DALY als alternatives Mass zur Berechnung der Nutzen von Lärmschutzmassnahmen oder als ergänzendes Kriterium bietet verschiedene Vor- und Nachteile.

Empfehlung: Auf eine Berücksichtigung der DALY zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen als zusätzliches oder alternatives Kriterium ist zu verzichten. Zu viele Kriterien verhindern eine eindeutige Priorisierung der Lärmschutzmassnahmen, insbesondere wenn sie zu gegensätzlichen Aussagen führen. Die aktuelle Berechnung der Nutzen über vermiedene Mietzinsverluste und vermiedene Gesundheitskosten ist methodisch-wissenschaftlich gut abgestützt und etabliert, weshalb es keine Notwendigkeit gibt, von diesem Vorgehen abzukommen.

8.10 Klärung der Auswahl- bzw. Priorisierungsregel

Heute existiert bei der Auswahl bzw. Priorisierung von mehreren verhältnismässigen Lärmschutzmassnahmen ein Interpretationsspielraum (vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt 2.2):

- Einerseits wird im «Leitfaden Strassenlärm» empfohlen, unter den Massnahmen mit einem $WTI \geq 1.0$ die Variante mit der höchsten Effektivität auszuwählen (Priorisierungsregel I).
- Andererseits wird im Anhang 4c zum Leitfaden auf die mit dem WTI erfolgte Interessenabwägung hingewiesen, die eine Klassierung der Massnahmen, Variantenvergleiche und Optimierungen erlaube. Demnach wären die Massnahmen nach ihrem WTI zu ordnen und es ist jene mit dem höchsten WTI auszuwählen, wie es auch die Ordinalskala im Effektivitäts-Effizienz-Diagramm («genügend», «gut», «sehr gut») impliziert (Priorisierungsregel II).

Die Priorisierungsregel I hat zur Folge, dass bereits eine sehr kleine Differenz bei der Effektivität dafür sorgen kann, dass aus ökonomischer Sicht (Effizienz) deutlich weniger wirtschaftliche Massnahmen ausgewählt werden. Im Extremfall wird eine Massnahme mit Effektivität 99% und Effizienz 0.5 (WTI 2.0) einer Massnahme mit Effektivität 98% und Effizienz von 1.0 (WTI 4.0) vorgezogen. Die Priorisierungsregel I, wie sie im Leitfaden Strassenlärm postuliert wird, entspricht auch nicht der Auswahl nach einer Ordinalskala wie sie dem WTI zugrunde liegt. Streng genommen wird die im WTI innewohnende Interessenabwägung durch nochmalige Berücksichtigung der Effektivität sogar weitgehend «übersteuert».

Empfehlung: Wir empfehlen die zu verwendende Priorisierungsregel eindeutig festzulegen. Inhaltlich schlagen wir vor, für die Auswahl zwischen verhältnismässigen Massnahmen immer die Priorisierungsregel II anzuwenden, damit die Massnahme mit dem höchsten WTI realisiert wird. Dadurch kann vermieden werden, dass für eine geringfügig höhere Effektivität unter Umständen sehr hohe Kosten in Kauf genommen werden müssen.

9 Anhang A – Zusätzliche Umfrageergebnisse / Fragebogen

9.1 Kombination von lärmarmen Belägen mit Lärmschutzwänden

Die Kantone haben folgende zusätzlichen Kommentare zu Massnahmenkombinationen eingebracht.

Abbildung 9-1: Zusätzliche Kommentare zur Kombination von Lärmschutzwand und lärmarmen Belägen

Kategorie / Thema	Bemerkungen / Antworten
Kombination Lärmschutzwand und lärmarme Beläge	<ul style="list-style-type: none"> – ZH: «Ausser ca. 1x. Im Regelfall wird jedoch nur das eine oder das andere realisiert. Bei geplanten LSW wird geprüft, ob diese mit einem Belag ersetzt werden können. LSW sind nicht mehr erwünscht (hohe Kosten, Anwohner sind oft nicht zufrieden mit der Wirkung, Ortsbildschutz, es hat schon sehr viele Wände, wenige Leute erhalten mit viel Geld wenig Schutz und in der Regel nicht die hochbelasteten Betroffenen --> Ungleichbehandlung). Die (Un-)zufriedenheit von Betroffenen wurde mit einer breit angelegten Umfrage erfasst.» – SH: Wir haben nur die Massnahmen-Kombinationen lärmarmen Belag und Temporeduktion beurteilt. – GR: Anfänglich berücksichtigten wir in der WTI-Berechnung die Kombinationswirkung. Mittlerweile haben wir diese eliminiert. Das heisst, bei einem Wandprojekt wird rein die wirtschaftliche Tragbarkeit der Wand per se mit dem WTI-Tool bestimmt.

9.2 Umgang mit Ersatz / Erhöhung vor Ablauf der Lebensdauer

Die folgende Abbildung zeigt die dazu eingegangenen Rückmeldungen der Kantone zum Umgang mit dem Ersatz bzw. der Erhöhung bestehender Lärmschutzwände vor Ablauf der Lebensdauer.

Abbildung 9-2: Umgang mit Ersatz vor Ablauf der Lebensdauer

Kanton	Erfahrungen / Umgang mit Ersatz
VS / ZG / TI / ZH / AI / TG / GL / GR	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Erfahrung – La situation ne s'est pas présentée – Wir haben bis jetzt keine bestehende Lärmschutzmassnahme ersetzt oder wesentlich verändert – Bisher wurde noch keine LSW ersetzt, die noch nicht das Ende ihrer Lebensdauer erreicht hatte – Wir hatten diesen Fall bisher nicht – War bislang noch nicht notwendig – War im Kanton noch nie der Fall – War bei uns bis jetzt nie ein Thema.
BE	<p>Dieser Fall ist bis heute im Kanton BE nicht eingetroffen. Muss eine LSW vor Ablauf ihrer Lebensdauer ersetzt werden so gibt es einen Auslöser dafür z.B. eine Strasse wird wesentlich geändert (neues Verkehrsregime), die Wand muss erhöht oder verlängert werden oder ein Strassenausbau bewirkt, dass eine bestehende LSW versetzt werden muss. In diesen Fällen können vor allem die Lärmschutzelemente wiederverwendet werden. Bei der Beurteilung eines Restwertes und einer Restlebensdauer steht die «Besitzstandgarantie» im Vordergrund. Der Fall, dass zukünftig eine bereits bestehende LSW aufgrund einer neuen WTI-Berechnung entfällt, muss verhindert werden.</p>
SG	<p>Lärmschutzmassnahmen (Beläge und Lärmschutzwände/-wälle) werden bis heute nur im Rahmen des ordentlichen Unterhalts durchgeführt. Der Restwert wird entsprechend als 0 angenommen, auch in den WTI-Berechnungen.</p>
SH	<p>Der WTI wird berechnet mit den Kosten gemäss Neubeschaffung (heute)</p> <ul style="list-style-type: none"> - nein [<i>Restwert und Restlebensdauer werden nicht berücksichtigt</i>] - die WTI-Methodik wird angewendet [<i>zur Beurteilung der Erhöhung / des Ersatzes</i>] - Kosten gemäss Neubeschaffung [<i>werden zur Berechnung des WTI eingesetzt</i>] - Die Wirksamkeit wird mit und ohne bestehende Massnahmen berechnet.
AG	<p>Wir haben diesen Fall noch nie gehabt, würden aber den Restwert der bestehenden Wand und den Neuwert der erhöhten Wand addieren. Wir wenden immer den WTI an bei Investitionskosten bereits ab 300'000 CHF. Wir wählen nur die Lärmbelastung ohne die bestehende Massnahme.</p>
SZ	<p>Der Restwert wurde nicht berücksichtigt. Es werden die Baukosten der neuen Massnahme angewendet. Zwei Lärmschutzwände mussten saniert werden, da das Produkt die Lebenserwartung (Holz) nicht erreicht hat. Die Lieferfirma existiert nicht mehr. Wirksamkeit Vergleich ohne bestehende Massnahme.</p>

9.3 Generelle Rückmeldungen zum WTI

In der nachstehenden Abbildung sind die generellen Rückmeldungen der Kantone nach ausgewählten Themen zusammengestellt.

Abbildung 9-3: Generelle Rückmeldungen zum WTI

Kategorie / Thema	Bemerkungen / Antworten
Generelle Beurteilung WTI	<ul style="list-style-type: none"> – SH: Wir beurteilen den WTI als gutes Werkzeug. – SG: Lärmschutzwände werden im Kanton St. Gallen mittels WTI dimensioniert. Bei den lärmarmen Belägen wird ein vereinfachtes Verfahren für die Prüfung der Wirtschaftlichkeit angewendet. Damit wurden bisher gute Erfahrungen gemacht. – LU: Trotz verschiedener Unzulänglichkeiten sind wir froh um das Berechnungstool WTI. – GR: Grundsätzlich leistet das WTI-Tool nützlich Dienste, denn damit wurde die Diskussion um die Verhältnismässigkeit eines Wandprojektes versachlicht. – BE: Die WTI- Methodik wird im Kanton BE nur nach den Spielregeln der Wegleitung BAFU/ASTRA verwendet, in der Regel sehr wenig. Am gebräuchlichsten ist die KNF-Methodik¹⁰⁴ bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit von Lärmschutzwänden.
Lärmschutzwände	Hinweise zu Lärmschutzwänden
WTI für Lärmschutzwände	<ul style="list-style-type: none"> – GR: Bei der Zahl [Anzahl WTI-Berechnungen] handelt es sich um Wandprojekte, welche im Rahmen der Lärmsanierungsprojekte (LSP) weiterverfolgt werden. Darin enthalten sind keine Variantenberechnungen. Nach grober Schätzung würde sich unter Berücksichtigung der Varianten die angegebene Zahl ungefähr verdreifachen.
Kosten von Lärmschutzwänden	<ul style="list-style-type: none"> – ZH: Die m²-Kosten von LSW's mussten im Verlauf der Umsetzungserfahrungen der letzten Jahre dauernd erhöht werden: Von ursprünglich ca. Fr. 1'300.-- auf Fr. 1'800 bis Fr. 2'500.-- (je nach Bodenbeschaffenheit und Material). Aufgrund der hohen LSW-Preise in Kanton Zürich, wird ein mittlerer Jahresmietpreis von Fr. 230.--/m² in den WTI-Berechnungen eingesetzt.
Lebensdauer Lärmschutzwände	<ul style="list-style-type: none"> – ZH: Die Fundamente und Stützen von Lärmschutzwänden werden im Kanton Zürich auf eine Lebensdauer von 70-80 Jahren ausgelegt, die Schallschutzelemente auf ca. 40 Jahre.
Betrieb und Unterhalt Lärmschutzwand	<ul style="list-style-type: none"> – ZH: Die Begrünung ist in der Regel auf Kantonsseite minimal gehalten. Dies führt zu einem sehr geringen Unterhaltsaufwand. Ohne die Berücksichtigung von externen Einwirkungen (Fahrzeugunfall, Vandalismus, etc.) schätzen wir die Aufwendungen auf weniger als 1%. – BE: Zukünftig wird auch der Unterhalt von Lärmschutzwänden ein Thema in den Kantonen sein. Dazu hat das Tiefbauamt des Kantons Bern einen Bericht zum Vorgehen bezüglich Kostenschätzung

¹⁰⁴ Der KNF (Kosten-Nutzen-Faktor) wird gemäss Benutzer-Handbuch für WT-Excel-Tool UV-0637 für kleinere Lärmschutzmassnahmen (Kosten unter 500'000 CHF) verwendet, um die Verhältnismässigkeit und Kostenwirksamkeit zu beurteilen. Liegen die Kosten der Lärmschutzmassnahme unter dem berechneten KNF, so ist sie verhältnismässig. Der KNF berechnet sich aus der Lärmreduktion in dB(A)*Einwohner im Wirkungsbereich der Massnahme multipliziert mit dem Satz von 5'000 CHF multipliziert.

	für die «Instandhaltung- und Wiederbeschaffung» von Lärmschutzwänden erarbeitet. Darin sind jährliche Wiederbeschaffungskosten ausgewiesen, welche als Basis für die Budgetierung dienen.
Finanzierung	– ZH: Wenn eine LSW nicht wirtschaftlich ist und der/die betroffenen Eigentümer dies aktiv wünschen, wird ein Kostenteiler vereinbart: Der Kanton zahlt diejenige Summe, die für die Ausmasse der LSW gerade noch wirtschaftlich wäre, der/die Eigentümer den Rest.
Lärmarme Beläge	Hinweise zu Lärmarmen Belägen
WTI für lärmarme Beläge	<ul style="list-style-type: none"> – AG: WTI für Beläge wurde nie berechnet – VS: La plupart du temps, on part du principe que le revêtement a un rapport coût efficacité positif. Le WTI de la paroi est réalisé en tenant compte de l'influence acoustique du revêtement. – SH : Bei Strassen mit IGW-Überschreitung werden im Rahmen des Strassenunterhalts seit einigen Jahren 8er-Beläge standardmässig eingebaut. Zu Beginn wurde der Typ AC MR 8 verwendet, seit rund 2 Jahren der SDA 8-12.
Lebensdauer Lärmarme Beläge	– VS: Les durées de vie indiquées sont des estimations basées sur notre expérience. Il s'agit de la durée de vie mécanique du revêtement, la durée de vie acoustique est quasi toujours inférieure à 10 ans."
Betrieb und Unterhalt Lärmarme Beläge	– SH: Für detailliertere Angaben zu den Belägen fehlen noch die Langzeiterfahrungen. Darum können in der Tabelle Beläge keine Angaben zu jährlichen Betriebs- und Unterhaltskosten machen.
Erwartungen	Hinweise zu Erwartungen / Verbesserungsmöglichkeiten
Erwartungen / Vorschläge	<ul style="list-style-type: none"> – GR: Die Ausweitung des Tools auf andere technische Lärmschutzmassnahmen wie Belag und Herabsetzung der Höchstgeschwindigkeit (inkl. Auswirkungen auf den öV) ist zu begrüssen. Dabei muss jedoch ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen den ökonomischen Interessen und den Interessen des Gesundheitsschutzes gefunden werden. Wir haben den Eindruck, dass beim jetzigen Verfahren die ökonomischen Aspekte überwiegen. – LU: Bezüglich lärmarmen Belägen und insbesondere für Tempo 30-Regimes werden für ein neues Tool standardisierte Vorgaben erwartet. – SH: Unseres Erachtens fehlen einheitliche Kostenansätze für Temporeduktionen. – TG: Mögliche Verbesserungsvorschläge für eine einheitlichere bzw. realistische Beurteilung: <ul style="list-style-type: none"> - für jeden lärmempfindlich genutzten Raum wird eine Lärermittlung und Beurteilung durchgeführt. Jedem lärmempfindlich genutzten Raum wird eine Fläche oder Person zugeordnet. - Die Anzahl Personen pro lärmempfindlich genutzten Raum wird detaillierter zugeordnet oder ggf. generalisiert. Bsp. Pro Schlafzimmer 1 Person und pro Wohnzimmer 2 Personen. (Sonderregelung für kleine 1- oder 2-Zimmerwohnungen). - Wohnzimmer werden nur im Zeitraum Tag in die Wirtschaftlichkeitsberechnung miteinbezogen oder die Nutzung der Räume wird gewichtet (sensible Räume (Schlafen) werden höher gewichtet als Wohnzimmer oder Arbeitszimmer). - Realistische Kostenschätzung für Bauausführung/Projektierung durch die zuständigen Behörden oder unverbindliche Richtofferte Bauunternehmer.

9.4 Fragebogen (Struktur)

Fragen zu Lärmschutzwänden																
Material / Typ	Ø Höhe in Metern	Strassentyp	Siedlungstyp	Investitionskosten (CHF/m ²)			Jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten		Lebensdauer	Was ist in der Angabe zu den Investitionskosten enthalten?					Bemerkungen	
				Wand (Dämm) pro Fläche	Fundament pro Lauffmeter	Bauliche Anpassungen pro Lauffmeter	Total pro m ²	In % der Investitionskosten (Total)		CHF/m ²	CHF/m ²	Projektilung	Verfahren	Bausführung		Bauleitung
Einheit / Auswahl >>>	m	siehe Auswahl	siehe Auswahl	CHF/m ²	CHF/m	CHF/m	CHF/m ²	(0-100)	Jahre	X	X	X	X	X	X	Freier Text (z.B. präzisere Angaben zu Kostenbestandteilen)
Beton (BEISPIEL)	2.0	Kantonsstrasse	Ausserorts	850	200	100	1000	2.0	20	45	X	X	X	X	X	
Beton																
Beton																

Fragen zu lärmarmen Belägen														
Belagstyp	Strassentyp	Siedlungstyp	Investitionskosten		Jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten		Lebensdauer	Was ist in der Angabe zu den Investitionskosten enthalten?					Bemerkungen	
			Investitionskosten (CHF/m ²)	Investitionskosten (CHF/m ²)	In % der Investitionskosten (0-100)	CHF/m ²		Projektilung	Bausführung	Bauleitung	Verfahren	Beplanung		Andere
Einheit / Auswahl >>>	siehe Auswahl	siehe Auswahl	CHF/m ²	CHF/m ²	(0-100)	CHF/m ²	Jahre	X	X	X	X	X	X	Freier Text (z.B. präzisere Angaben zu Kostenbestandteilen)
SDA4 (BEISPIEL)	Kantonsstrasse	Innerorts	70.0	70.0	0.5	0.4	20	X	X	X	X	X	X	

Abbildung 9-4: Zusätzliche Fragen zur Anwendung des WTI

Frage 1 In wie vielen Projekten wurde in den letzten 5 Jahren der WTI für Lärmschutzmassnahmen berechnet?

Frage 2 Wie gehen Sie vor, wenn bestehende Lärmschutzmassnahmen vor Ablauf der Lebensdauer ersetzt oder wesentlich verändert werden?

Sofern möglich sind wir Ihnen dankbar, wenn Sie bei Ihrer Antwort sowohl diese generelle Frage, als auch die folgenden Detailfragen beantworten:

– Wie gehen Sie mit dem Restwert und der Restlebensdauer der bestehenden Lärmschutzmassnahmen um (werden diese bei der Ermittlung des neuen WTI berücksichtigt und wenn ja, wie)?

– Wenden Sie für die Beurteilung der Ersatzmassnahme die WTI-Methodik an oder verwenden Sie ein anderes Verfahren (wenn ja, welches)?

– Welche Kosten setzen Sie bei dieser Beurteilung für die Ersatzmassnahme ein (z.B. Wiederbeschaffungswert der bestehenden Lärmschutzmassnahme, Baukosten der neuen Massnahme, Zusatzkosten der neuen Massnahme, Summe aus mehreren Kostenelementen etc.)

– Welche Zustände bezüglich Lärmbelastung unterscheiden Sie bei der Beurteilung der Wirksamkeit der Ersatzmassnahme (wann verwenden Sie als Vergleichszustand die Lärmbelastung mit oder ohne bestehende Massnahme)?

Frage 3 Wurden in den letzten 5 Jahren Massnahmen-Kombinationen (Lärmarmes Belag UND Lärmschutzwand am gleichen Strassenabschnitt) mittels WTI-Methodik beurteilt?

Frage 4 Möchten Sie uns zu Ihren Erfahrungen mit dem WTI, sowie zum Bau und Unterhalt von Lärmschutzwänden oder lärmarmen Belägen noch etwas anderes mitteilen?

10 Anhang B – Weitere Berechnungsergebnisse

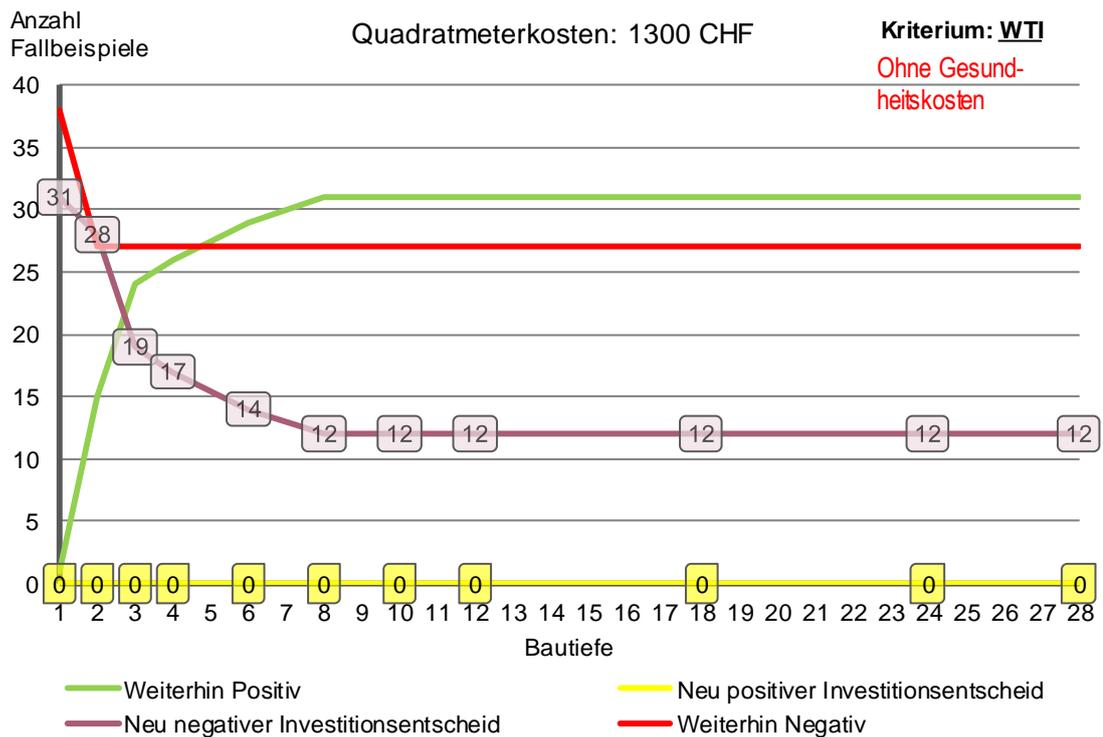
10.1 Anhang B1 - Berechnung mit neuen Annahmen zu den Mietzinsverlusten (ohne Gesundheitsnutzen)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse wenn nur die Anpassung der Mietzinsnutzen erfolgt, aber auf den Einbezug der Gesundheitskosten verzichtet wird.

10.1.1 Lärmschutzwände

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI für die Fallbeispiele mit Lärmschutzwand, in Abhängigkeit der Bautiefe.

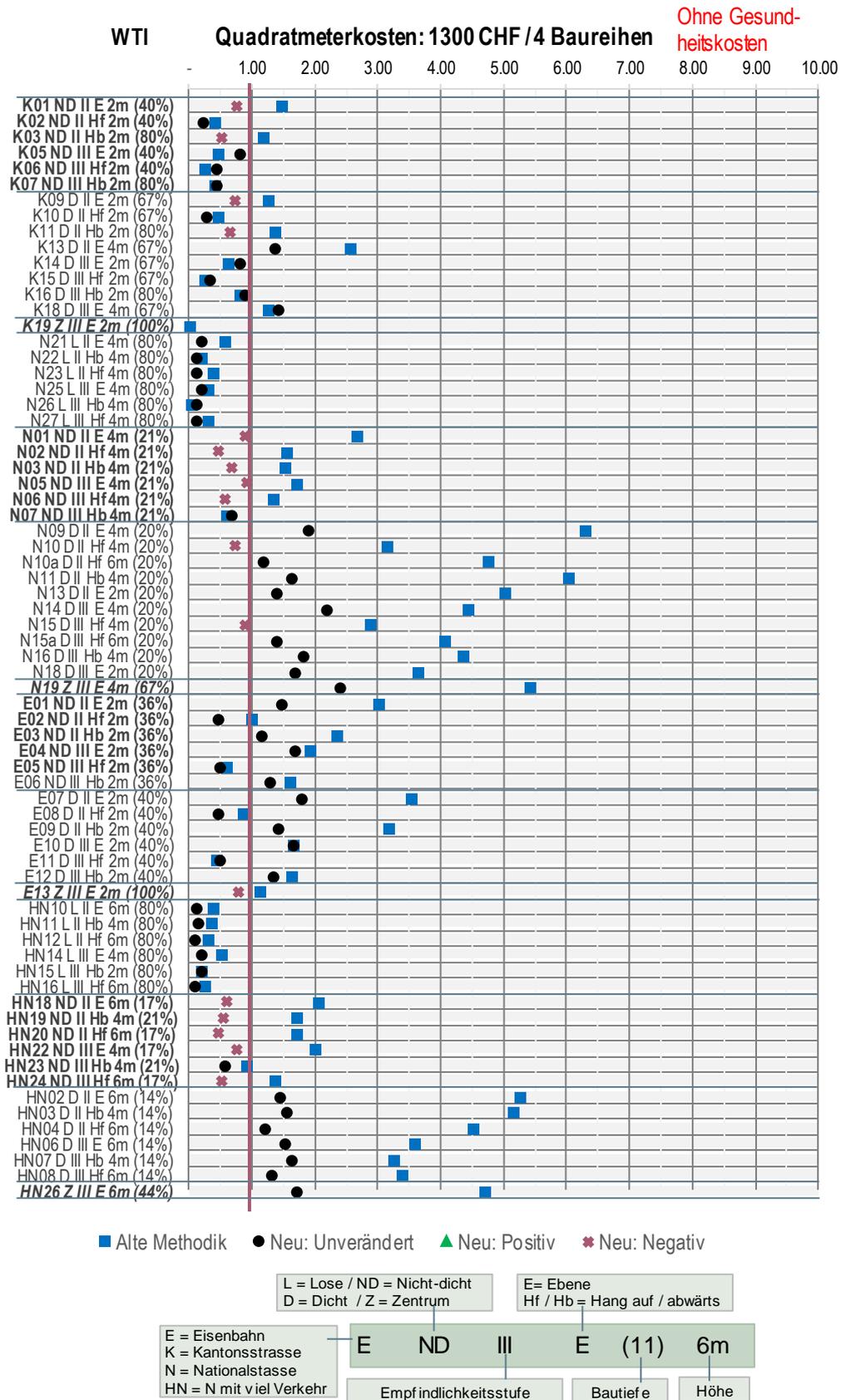
Abbildung 10-1: Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI, Einfluss der Bautiefe



Die Änderung der Methodik bei den Mietzinsverlusten – d.h. ohne die Hinzunahme der Gesundheitskostenreduktion auf der Nutzenseite – führt dazu, dass zwischen 12 bis 31 Fallbeispiele, die bisher als positiv beurteilt wurden, neu nicht mehr realisiert würden.

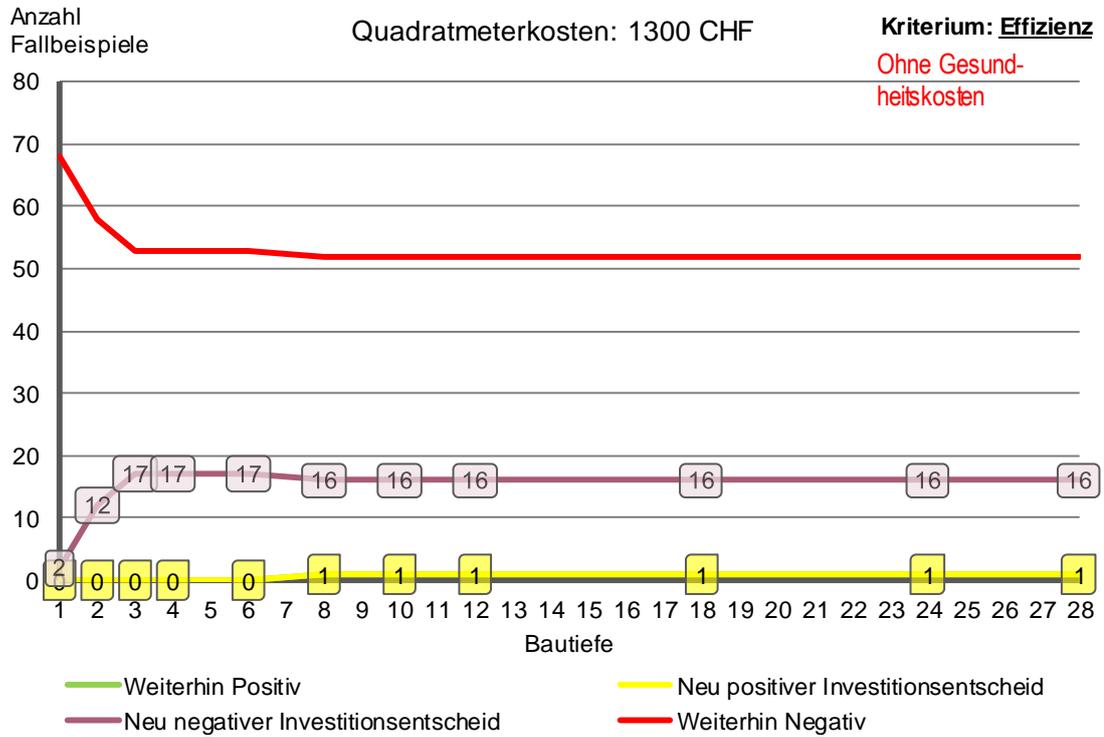
Die folgende Abbildung greift den Fall der Bautiefe von 4 heraus und zeigt dafür die Veränderung des WTIs für die einzelnen Fallbeispiele.

Abbildung 10-2: Veränderung des WTI für die Fallbeispiele, Bautiefe = 4



Wenn alleine aufgrund der Effizienz entschieden würde, zeigt sich das Bild in der folgenden Abbildung.

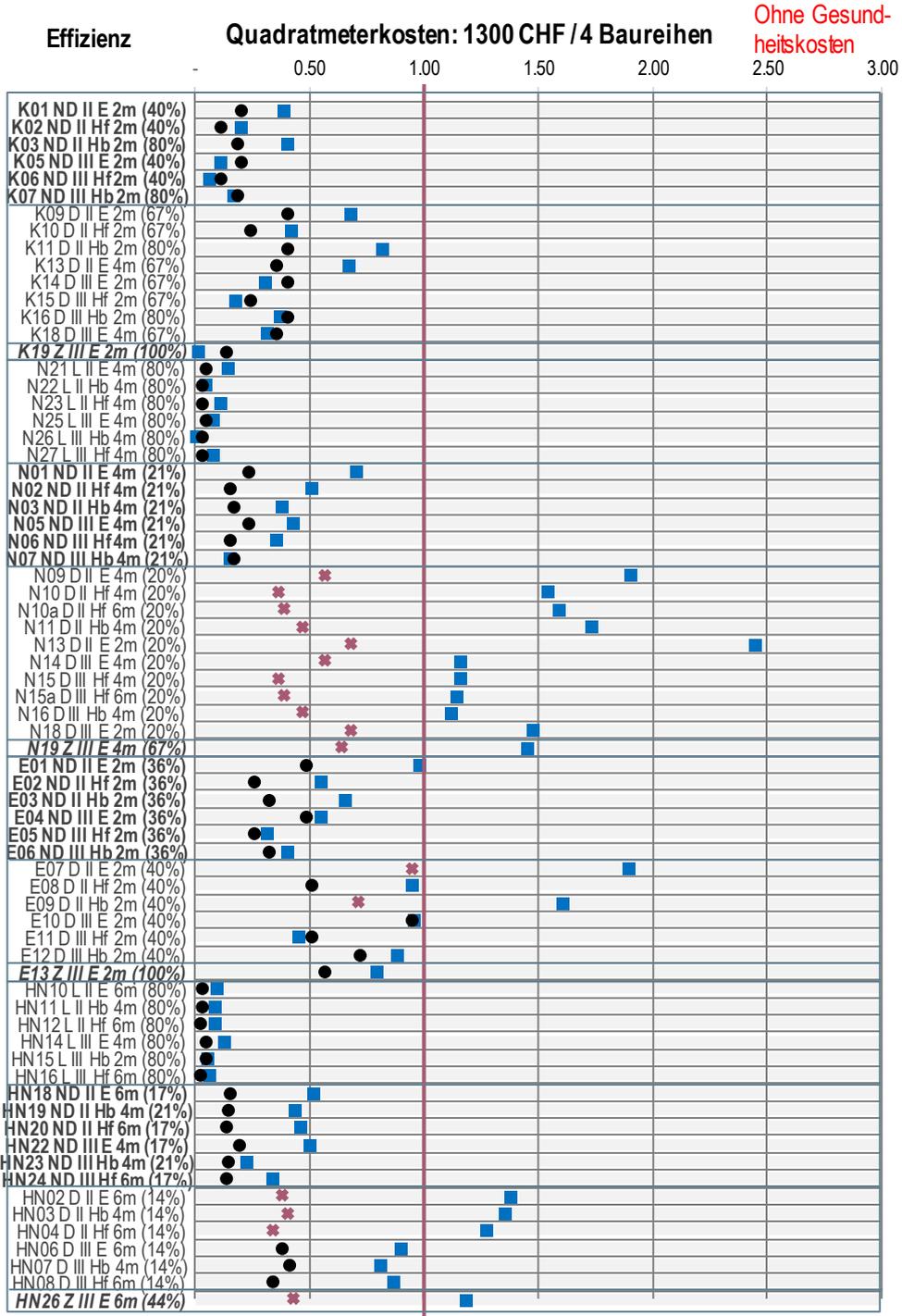
Abbildung 10-3: Lärmschutzwände: Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund der Effizienz, Einfluss der Bautiefe, ohne Gesundheitskosten



Würde alleine aufgrund der Effizienz entschieden, würde die Änderung der Methodik bei den Mietzinsverlusten – d.h. ohne die Hinzunahme der Gesundheitskostenreduktion auf der Nutzenseite – dazu führen, dass nur noch eines der Fallbeispiele realisiert würde.

Wiederum sind nachfolgend für den Fall von 4 Baureihen die Ergebnisse im Detail dargestellt.

Abbildung 10-4: Veränderung der Effizienz für die Fallbeispiele, Bautiefe = 4



■ Alte Methodik ● Neu: Unverändert ▲ Neu: Positiv * Neu: Negativ

L = Lose / ND = Nicht-dicht E = Ebene
D = Dicht / Z = Zentrum Hf / Hb = Hang auf / abwärts

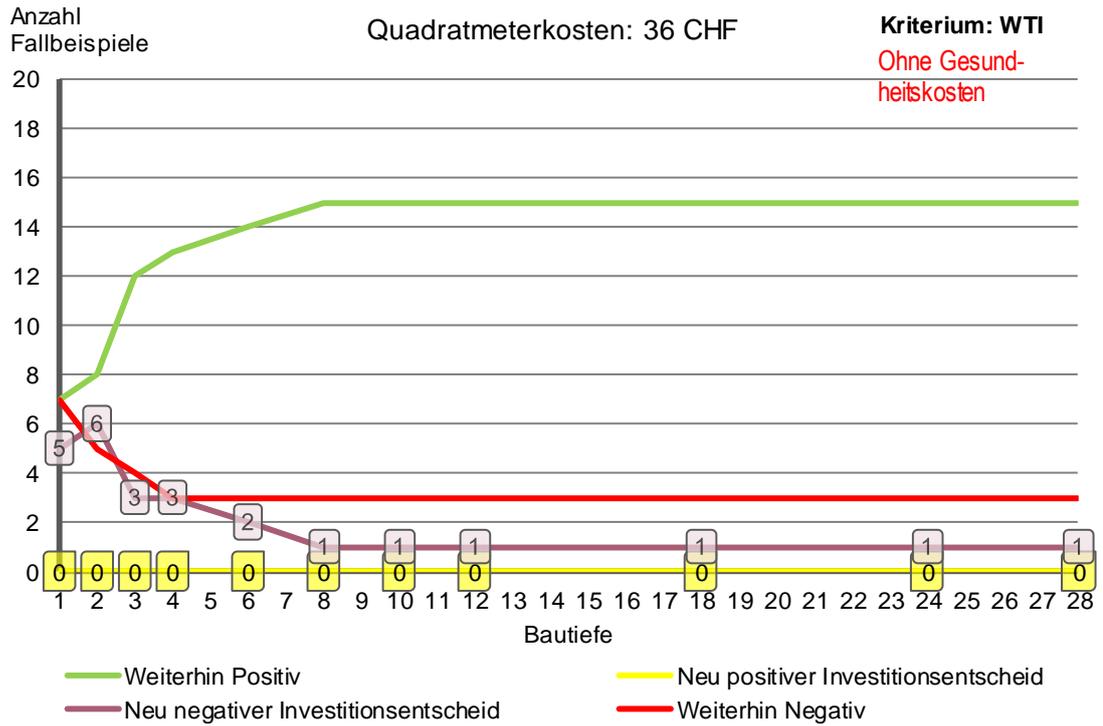
E = Eisenbahn K = Kantonsstrasse
N = Nationalstrasse
HN = N mit viel Verkehr

E ND III E (11) 6m
Empfindlichkeitsstufe Bautiefe Höhe

10.1.2 Lärmarme Beläge

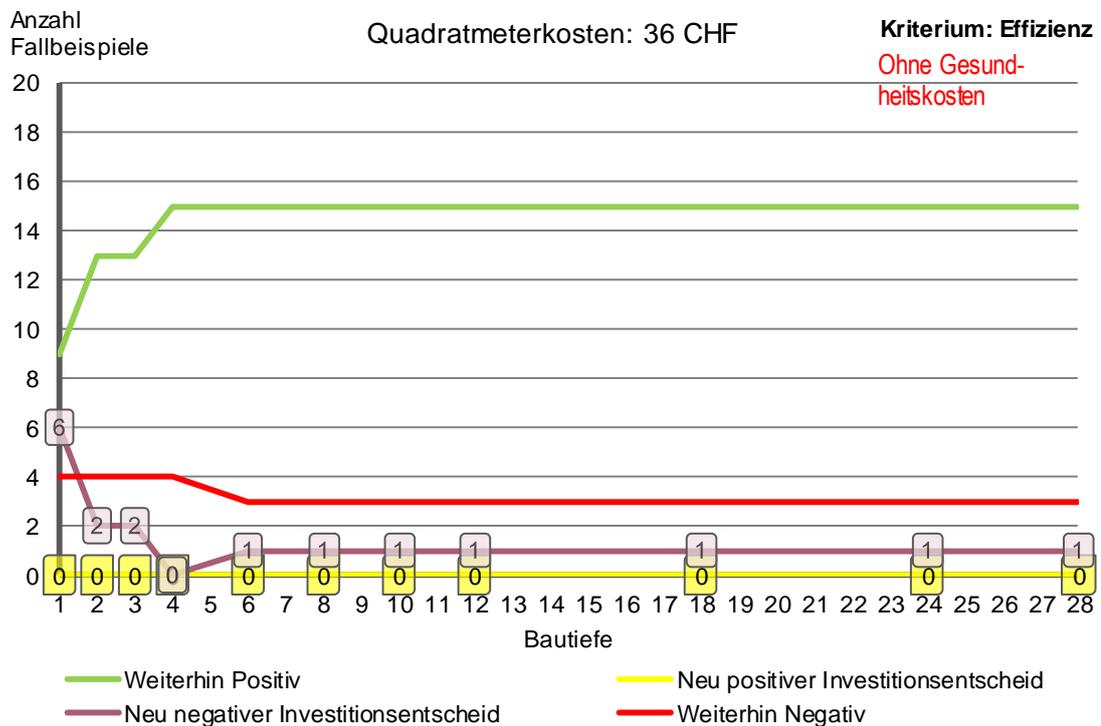
Wir bei lärmarmen Belägen zur Berechnung des WTI nur die Berechnung der Mietzinsverluste angepasst, aber auf einen Einbezug der Gesundheitskosten verzichtet, zeigt sich die folgende Veränderung der Entscheide.

Abbildung 10-5: Lärmarme Beläge: Veränderung der Investitionsentscheide aufgrund des WTI, ohne Gesundheitskosten



Die folgende Abbildung zeigt dieselbe Analyse für das Entscheidungskriterium der Effizienz.

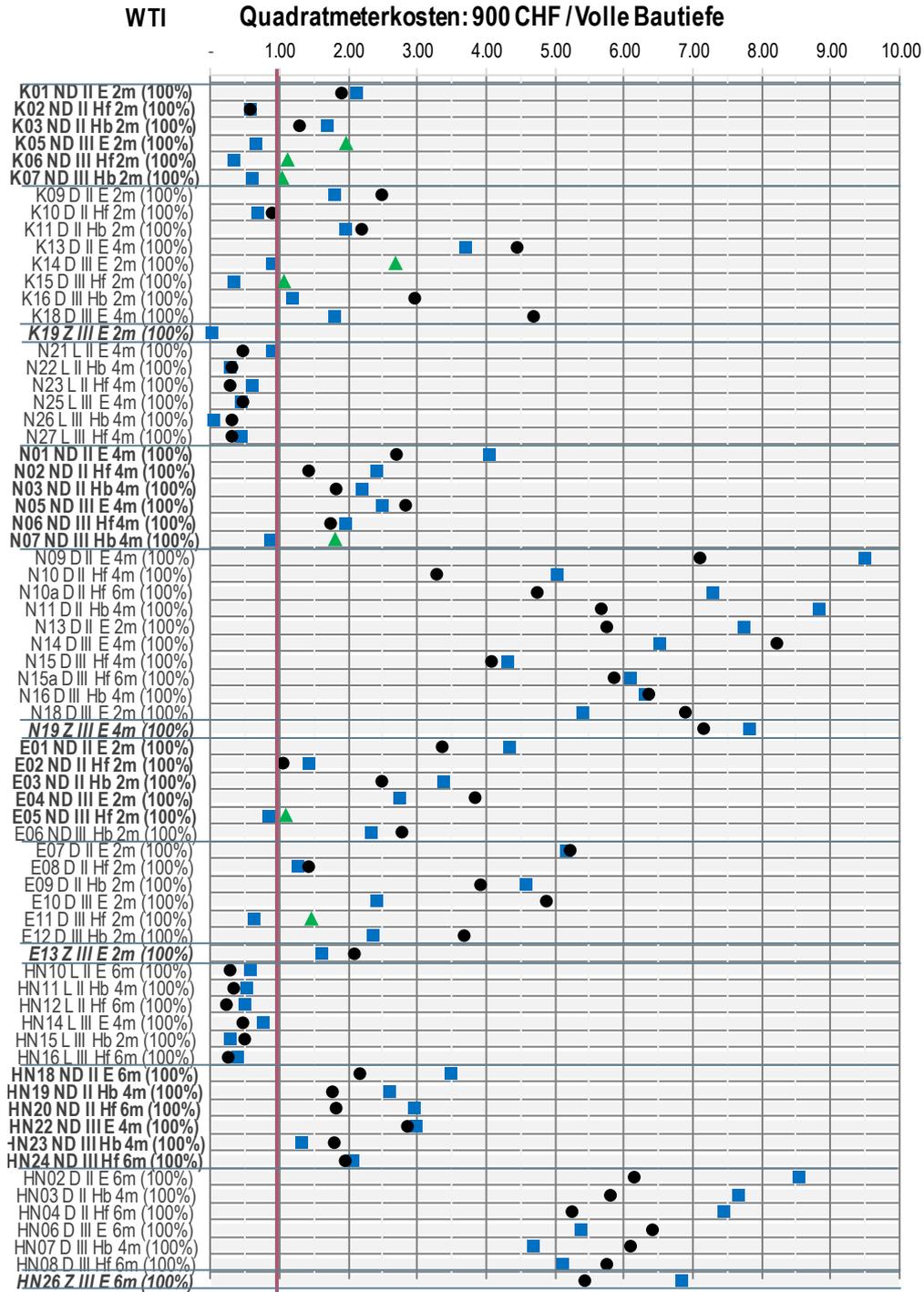
Abbildung 10-6: Lärmarme Beläge: Veränderung der Investitionsentscheidungen aufgrund der Effizienz, ohne Gesundheitskosten



10.2 Anhang B2 – WTI und Effizienz mit der neuen Methodik bei voller Bautiefe

Die folgenden Abbildungen zeigen den WTI und die Effizienz mit alter und neuer Methodik in Abhängigkeit, wenn die volle Bautiefe berücksichtigt wird (100% bei allen Fallbeispielen). Die Gesundheitskosten werden in der neuen Methodik einbezogen und es wird auf der Kostenseite von einer «einfachen» (900 CHF/m²), «mittleren» (1'300 CHF/m²) und «komplexen» (1'700 CHF/m²) Ausführung ausgegangen.

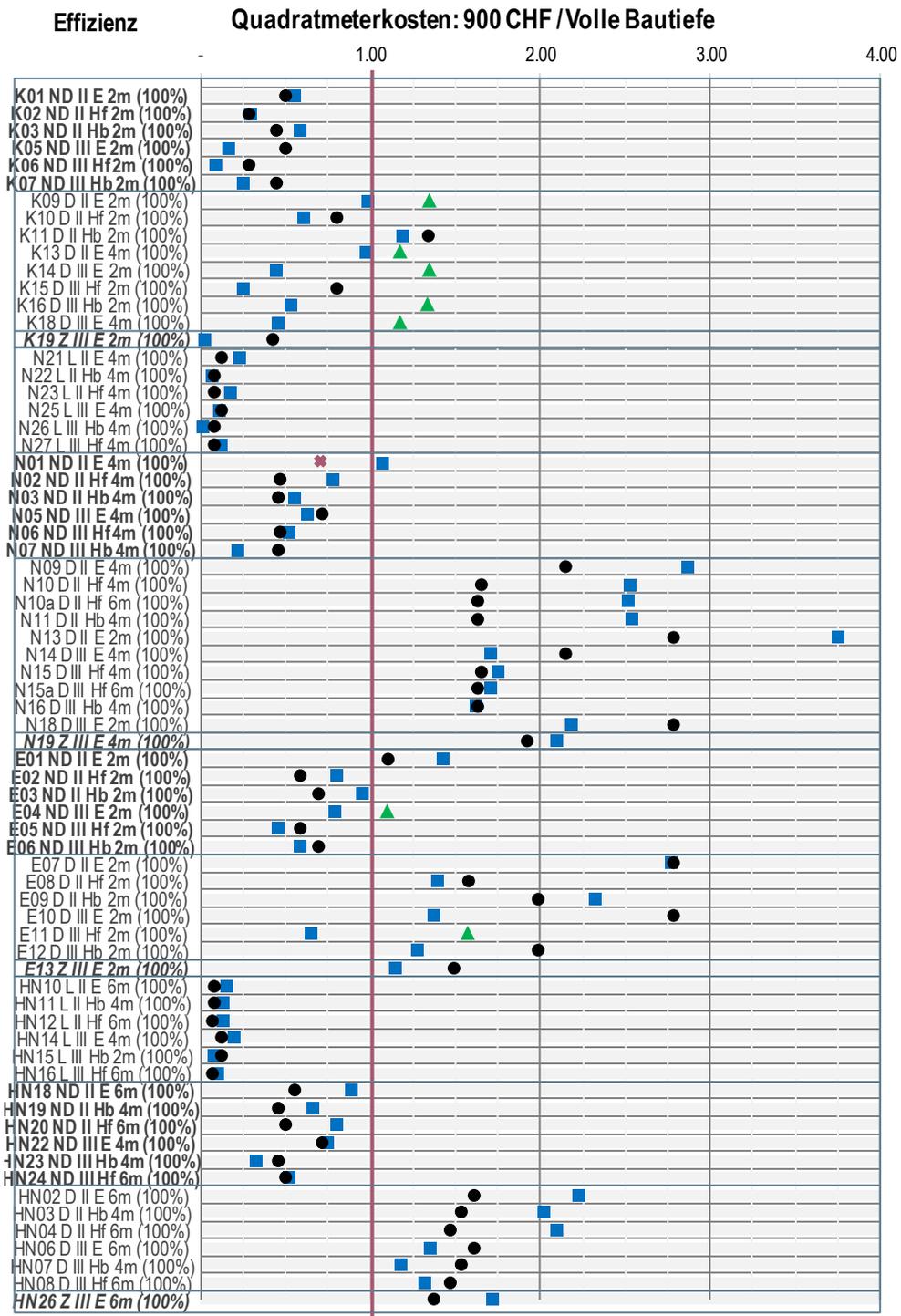
10.2.1 Volle Bautiefe, einfache Ausführung



■ Alte Methodik ● Neu: Unverändert ▲ Neu: Positiv * Neu: Negativ

L = Lose / ND = Nicht-dicht E = Ebene
 D = Dicht / Z = Zentrum Hf / Hb = Hang auf / abwärts

E = Eisenbahn	K = Kantonsstrasse	N = Nationalstrasse	HN = N mit viel Verkehr
E	ND	III	E (11) 6m
Empfindlichkeitsstufe		Bautiefe Höhe	



■ Alte Methodik ● Neu: Unverändert ▲ Neu: Positiv * Neu: Negativ

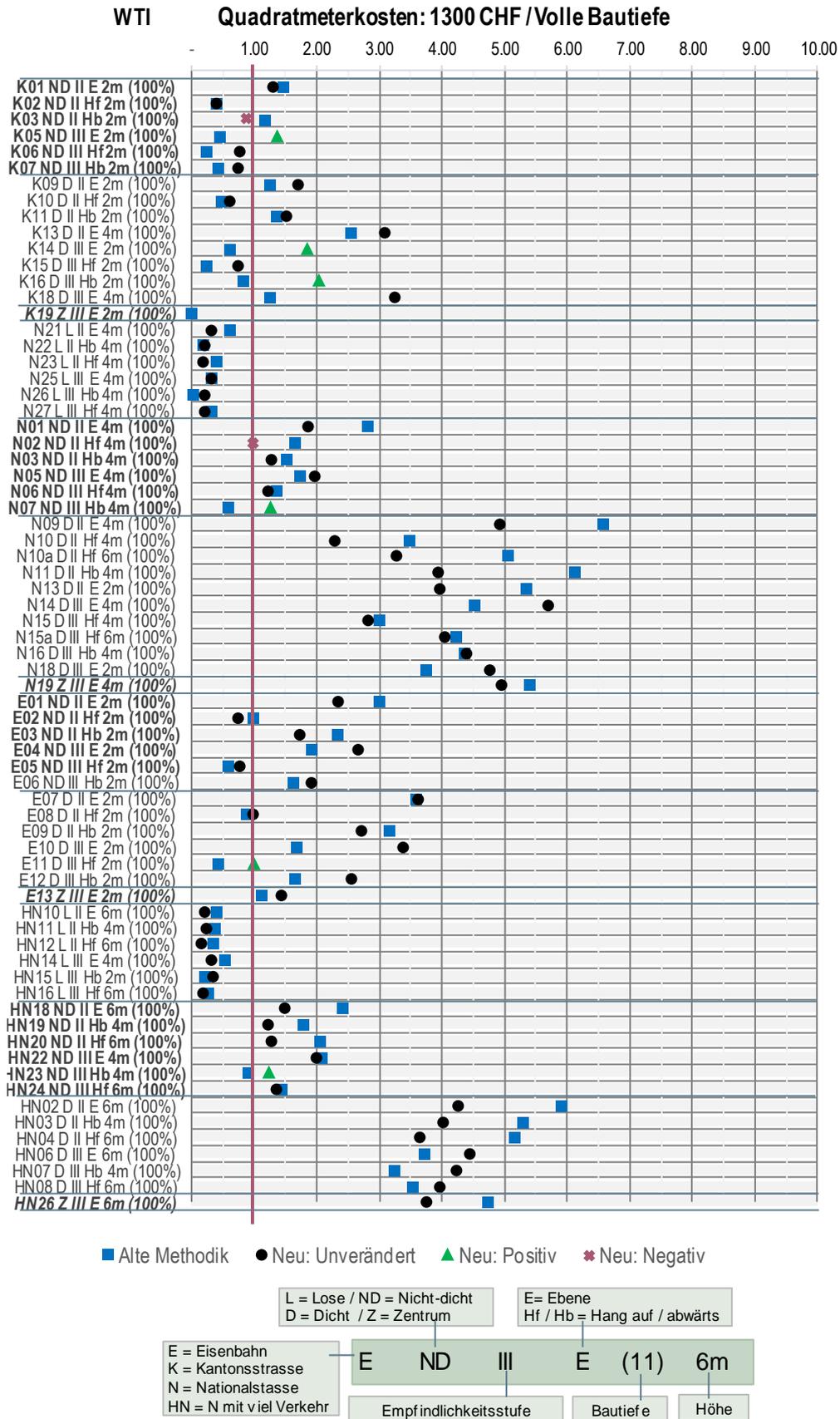
L = Lose / ND = Nicht-dicht
D = Dicht / Z = Zentrum

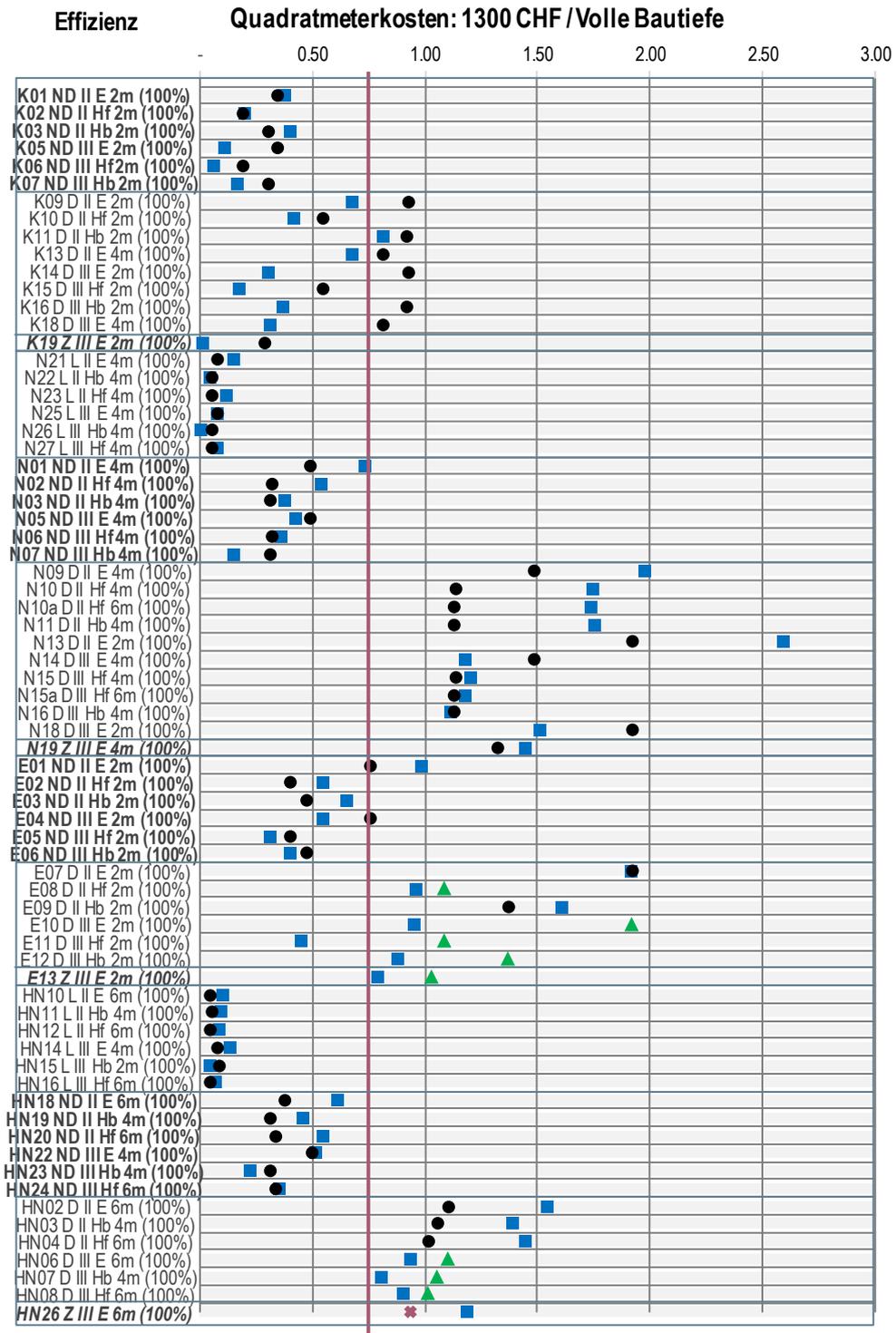
E = Ebene
Hf / Hb = Hang auf / abwärts

E = Eisenbahn
K = Kantonsstrasse
N = Nationalstrasse
HN = N mit viel Verkehr

E ND III E (11) 6m
Empfindlichkeitsstufe Bautiefe Höhe

10.2.2 Volle Bautiefe, mittlere Ausführung





■ Alte Methodik ● Neu: Unverändert ▲ Neu: Positiv * Neu: Negativ

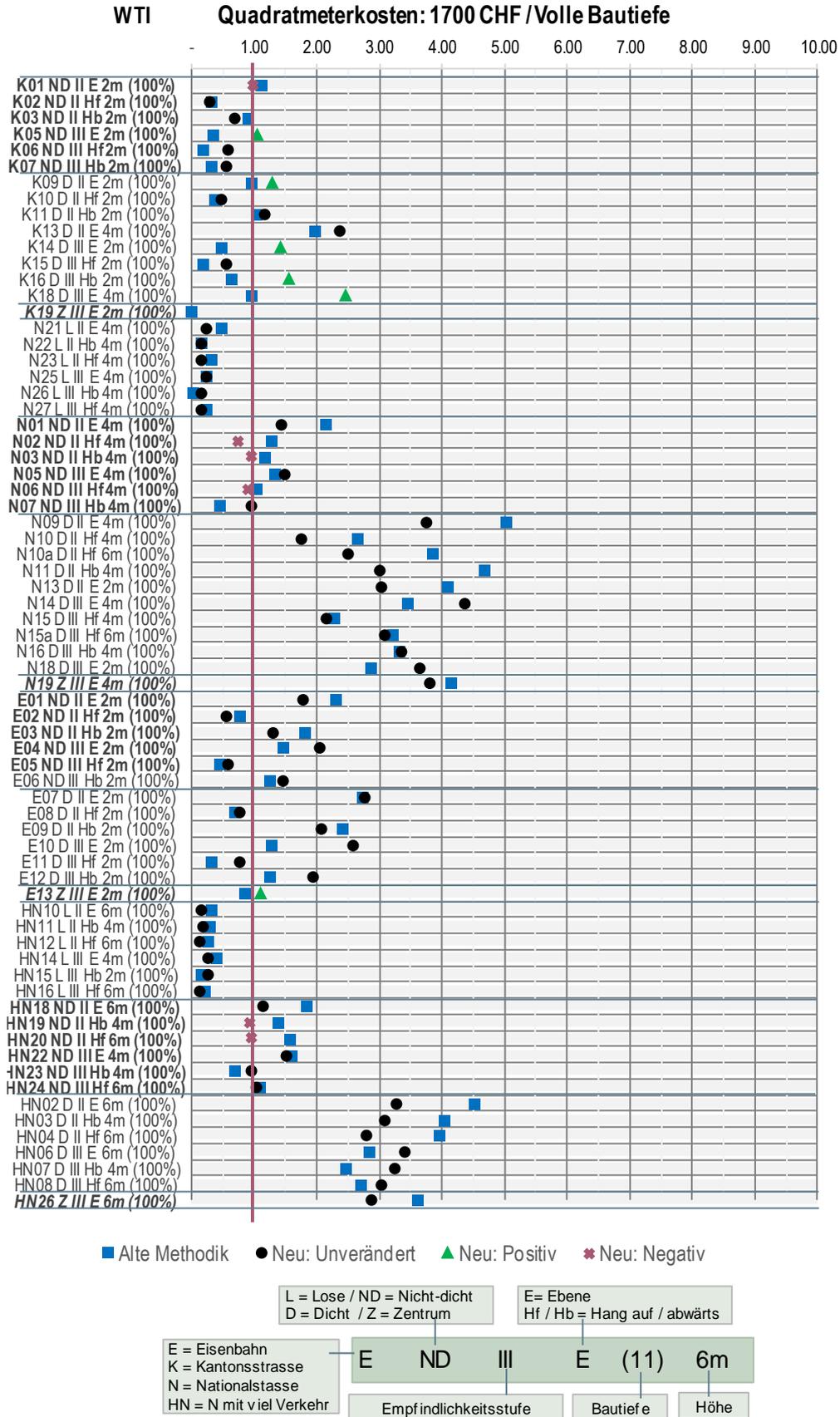
L = Lose / ND = Nicht-dicht
 D = Dicht / Z = Zentrum

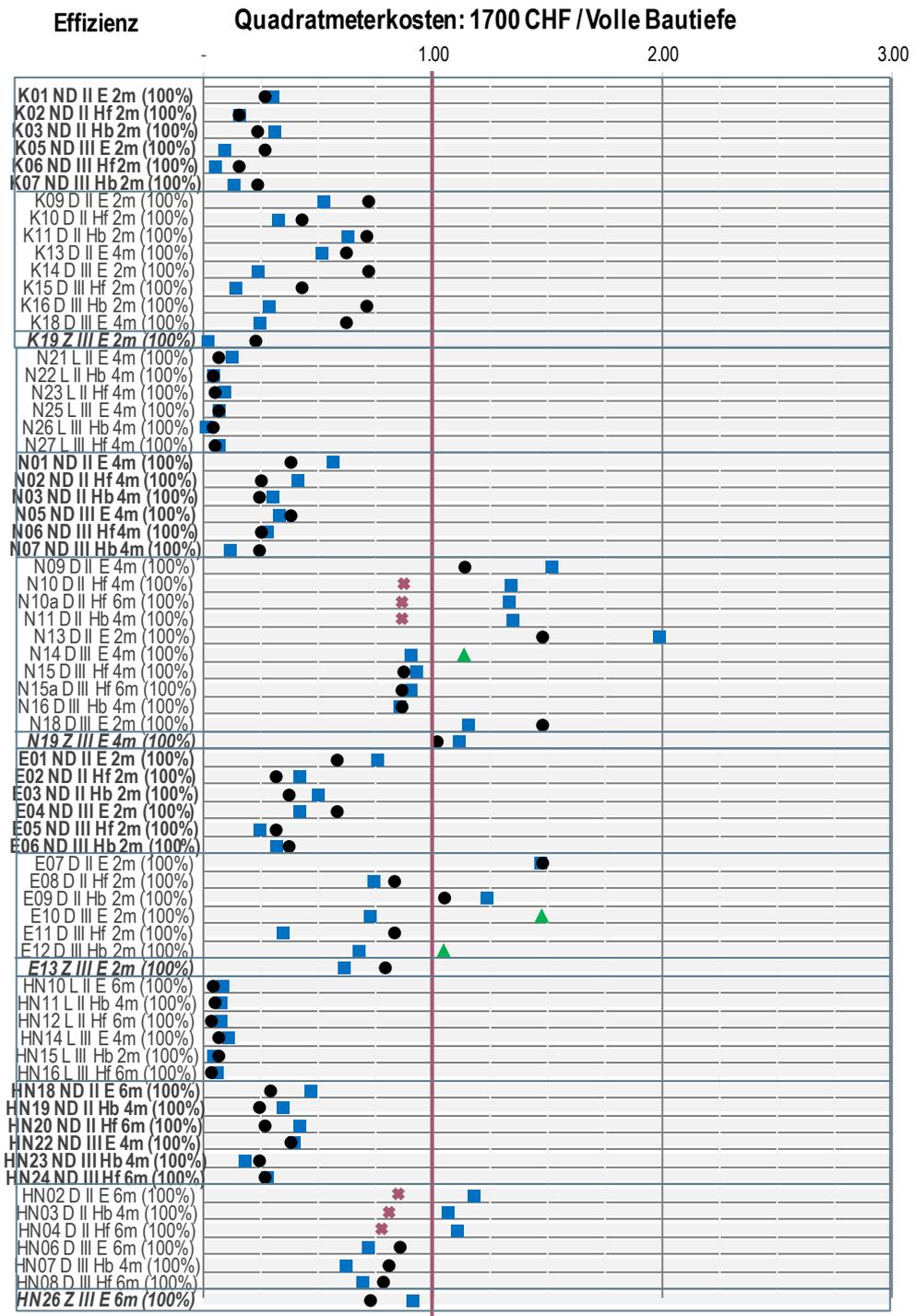
E = Ebene
 Hf / Hb = Hang auf / abwärts

E = Eisenbahn
 K = Kantonsstrasse
 N = Nationalstrasse
 HN = N mit viel Verkehr

E ND III E (11) 6m
 Empfindlichkeitsstufe Bautiefe Höhe

10.2.3 Volle Bautiefe, komplexe Ausführung





■ Alte Methodik ● Neu: Unverändert ▲ Neu: Positiv * Neu: Negativ

<p>E = Eisenbahn K = Kantonsstrasse N = Nationalstrasse HN = N mit viel Verkehr</p>	<p>L = Lose / ND = Nicht-dicht D = Dicht / Z = Zentrum</p>	<p>E = Ebene Hf / Hb = Hang auf / abwärts</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin: 0 10px;">E ND III E (11) 6m</div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> Empfindlichkeitsstufe Bautiefe Höhe </div>		

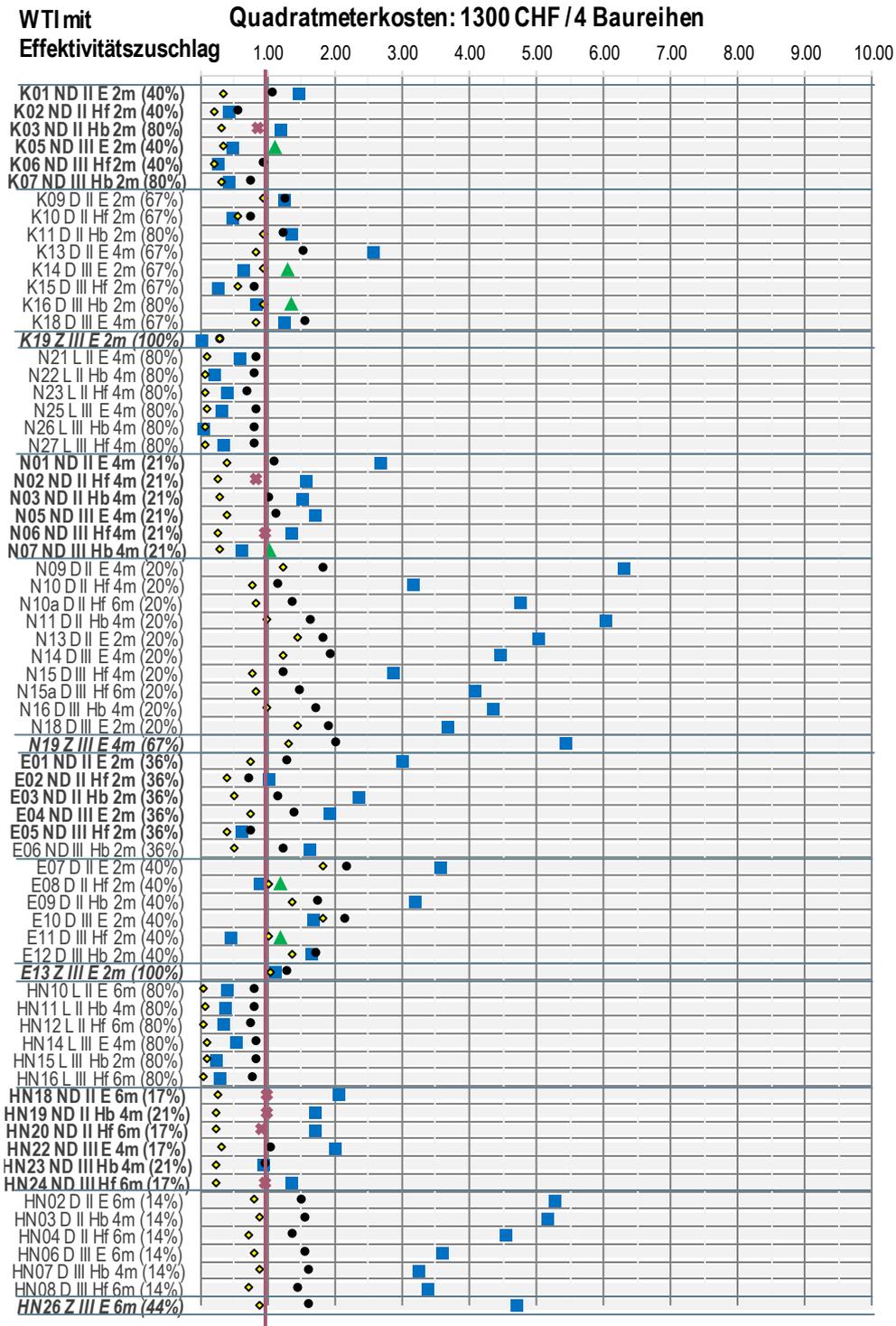
10.3 WTI mit Effektivitätszuschlag 0.75, inkl. Gesundheitskosten, mittlere Ausführung

Die folgenden Abbildungen zeigen, wie sich der WTI gegenüber der bisherigen Methodik verändert, wenn statt der bisherigen Formel die Formel mit dem Effektivitätszuschlag von maximal 0.75 verwendet wird.

Als gelbe Punkte (NKV) eingezeichnet ist die Effizienz / das Nutzen-Kosten-Verhältnis mit der neuen Methodik.

Zuerst wird eine Bautiefe von 4 gezeigt (1. Abbildung), danach die volle Bautiefe (2. Abbildung).

Abbildung 10-7: WTI mit maximalem Effektivitätszuschlag 0.75, Bautiefe = 4



■ Alte Methodik • Neu: Unverändert (mit Eff.-Zuschlag) ▲ Neu: Positiv * Neu: Negativ ◆ NKV

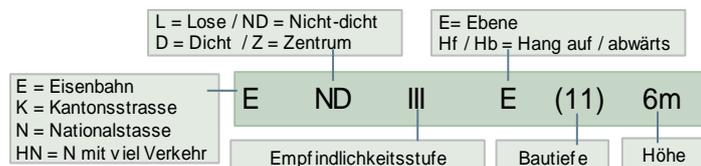
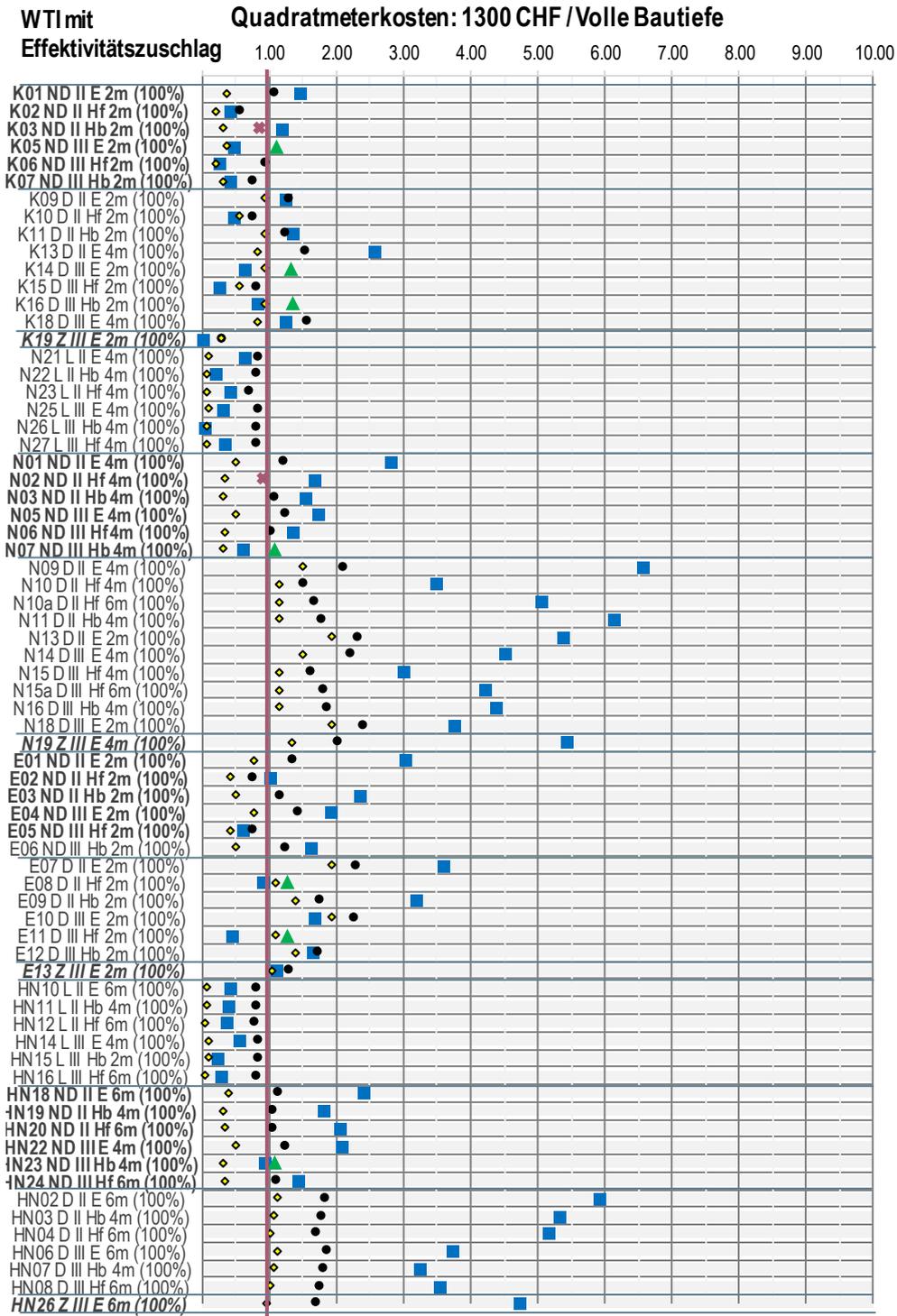
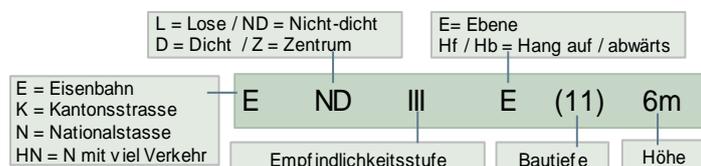


Abbildung 10-8: WTI mit maximalem Effektivitätszuschlag 0.75, volle Bautiefe



■ Alte Methodik • Neu: Unverändert (mit Eff.-Zuschlag) ▲ Neu: Positiv * Neu: Negativ ◆ NKV



11 Anhang C – Technische Dokumentation Fallbeispiele

11.1 Fallbeispiele mit Lärmschutzwand

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Lärmschutzwände für die Lärmquellen Eisenbahn (E), Kantonsstrasse (K), Nationalstrasse (N, DTV 55'000 Fahrzeuge pro Tag) und Nationalstrasse mit hohem Verkehrsaufkommen (HN, DTV 100'000 Fahrzeuge pro Tag).

Die Fallbeispiele sind jeweils zuerst nach der Besiedlung (von «locker» über «nicht-dicht» und «dicht» bis «Zentrum»), dann nach Empfindlichkeitsstufe (zuerst II, dann III) und nach Topografie (E, Hf, Hb) angeordnet. Die Fallbeispiele mit nicht-dichter Besiedlung sind jeweils **Fett** dargestellt und Fallbeispiele in Zentrumslage sind **Fett-Kursiv** dargestellt. Die gleiche Reihenfolge wird im ganzen Kapitel beibehalten.

Abbildung 11-1: Fallbeispiele mit Lärmschutzwänden und Lärmquelle Kantonsstrasse

ID	Besiedlung	ES	Topografie	Höhe (m)	Modellierte Bautiefe
K01	ND	II	E	2	10
K02	ND	II	Hf	2	10
K03	ND	II	Hb	2	5
K05	ND	III	E	2	10
K06	ND	III	Hf	2	10
K07	ND	III	Hb	2	5
K09	D	II	E	2	6
K10	D	II	Hf	2	6
K11	D	II	Hb	2	5
K13	D	II	E	4	6
K14	D	III	E	2	6
K15	D	III	Hf	2	6
K16	D	III	Hb	2	5
K18	D	III	E	4	6
K19	Z	III	E	2	3

Abbildung 11-2: Fallbeispiele mit Lärmschutzwänden und Lärmquelle Nationalstrasse mit DTV 50'000 Fz/d

ID	Besiedlung	ES	Topografie	Höhe (m)	Modellierte Bautiefe
N21	L	II	E	4	5
N22	L	II	Hb	4	5
N23	L	II	Hf	4	5
N25	L	III	E	4	5

N26	L	III	Hb	4	5
N27	L	III	Hf	4	5
N01	ND	II	E	4	19
N02	ND	II	Hf	4	19
N03	ND	II	Hb	4	19
N05	ND	III	E	4	19
N06	ND	III	Hf	4	19
N07	ND	III	Hb	4	19
N09	D	II	E	4	20
N10	D	II	Hf	4	20
N10a	D	II	Hf	6	20
N11	D	II	Hb	4	20
N13	D	II	E	2	20
N14	D	III	E	4	20
N15	D	III	Hf	4	20
N15a	D	III	Hf	6	20
N16	D	III	Hb	4	20
N18	D	III	E	2	20
N19	Z	III	E	4	6

Hinweis: Die Fallbeispiele mit lockerer Bebauung «L» wurden nachträglich eingefügt. Um die Reihenfolge der Siedlungsdichte zu wahren, wurden diese am Anfang der Tabelle eingefügt. Dies erklärt den Start mit der Nummer N21 statt N01.

Abbildung 11-3: Fallbeispiele mit Lärmschutzwänden und Lärmquelle Eisenbahn

ID	Besiedlung	ES	Topografie	Höhe (m)	Modellierte Bautiefe
E01	ND	II	E	2	11
E02	ND	II	Hf	2	11
E03	ND	II	Hb	2	11
E04	ND	III	E	2	11
E05	ND	III	Hf	2	11
E06	ND	III	Hb	2	11
E07	D	II	E	2	10
E08	D	II	Hf	2	10
E09	D	II	Hb	2	10
E10	D	III	E	2	10
E11	D	III	Hf	2	10
E12	D	III	Hb	2	10
E13	Z	III	E	2	3

Abbildung 11-4: Fallbeispiele mit Lärmschutzwänden und Lärmquelle Nationalstrasse mit DTV 100'000 Fz/d

ID	Besiedlung	ES	Topografie	Höhe (m)	Modellierte Bautiefe
HN10	L	II	E	6	5
HN11	L	II	Hb	4	5
HN12	L	II	Hf	6	5
HN14	L	III	E	4	5
HN15	L	III	Hb	2	5
HN16	L	III	Hf	6	5
HN18	ND	II	E	6	24
HN19	ND	II	Hb	4	19
HN20	ND	II	Hf	6	24
HN22	ND	III	E	4	24
HN23	ND	III	Hb	4	19
HN24	ND	III	Hf	6	24
HN02	D	II	E	6	28
HN03	D	II	Hb	4	28
HN04	D	II	Hf	6	28
HN06	D	III	E	6	28
HN07	D	III	Hb	4	28
HN08	D	III	Hf	6	28
HN26	Z	III	E	6	9

Hinweis: Die Fallbeispiele mit hohem Verkehrsaufkommen wurden nachträglich eingefügt. Um die Reihenfolge analog zu den anderen Lärmquellen zu wahren, wurden die Fallbeispiele gemäss Siedlungstyp angeordnet, ohne auf die Nummerierung Rücksicht zu nehmen. Dies erklärt den Start mit der Nummer HN10 statt HN01.

11.2 Fallbeispiele mit lärmarmen Belägen

Die folgende Abbildung zeigt die 19 Fallbeispiele mit lärmarmen Belägen für die Lärmquellen Kantonsstrasse, Nationalstrasse (mit wenig Verkehr) und Nationalstrasse (mit viel Verkehr).

Abbildung 11-5: Fallbeispiele mit lärmarmen Belägen für alle Lärmquellen

ID	Besiedlung	ES	Topografie	Breite (m)	Modellierte Bautiefe	Belagstyp	Annahme Wirkung
K4	ND	II	E	7	10	SDA4	-4 dB(A)
K8	ND	III	E	7	10	SDA4	-4 dB(A)
K12	D	II	E	7	6	SDA4	-4 dB(A)
K17	D	III	E	7	6	SDA4	-4 dB(A)
K20	Z	III	E	9	3	SDA4	-4 dB(A)
N24	L	II	E	14	5	SDA8	-1 dB(A)
N28	L	III	E	14	5	SDA8	-1 dB(A)
N4	ND	II	E	14	19	SDA8	-1 dB(A)
N8	ND	III	E	14	19	SDA8	-1 dB(A)
N12	D	II	E	14	20	SDA8	-1 dB(A)
N17	D	III	E	14	20	SDA8	-1 dB(A)
N20	Z	III	E	14	6	SDA8	-1 dB(A)
HN9	L	II	E	14	5	SDA8	-1 dB(A)
HN13	L	III	E	14	5	SDA8	-1 dB(A)
HN17	ND	II	E	14	24	SDA8	-1 dB(A)
HN21	ND	III	E	14	24	SDA8	-1 dB(A)
HN1	D	II	E	14	28	SDA8	-1 dB(A)
HN5	D	III	E	14	28	SDA8	-1 dB(A)
HN25	Z	III	E	14	9	SDA8	-1 dB(A)

11.3 Emissionen

Die folgende Abbildung zeigt die angenommenen Emissionen auf den Kantons- und Nationalstrassen (einmal mit niedrigem, einmal mit hohem Verkehrsaufkommen).

Abbildung 11-6: Verkehr und Emissionen Kantons- und Nationalstrasse

Lärmquelle Name	v [km/h]	Steigung		DTV [Fz/24h]	Verkehr				Emission					
		[%]	[dBA]		tags		nachts		Leq tags [dBA]	Leq nachts [dBA]	K1 tags [dBA]	K1 nachts [dBA]	Lr,e tags [dBA]	Lr,e nachts [dBA]
					Nt [Fz/h]	Nt2 [%]	Nn [Fz/h]	Nn2 [%]						
Kantonsstrasse	50	1.2	0.0	10'000	560	10.0	130	5.0	77.2	69.4	0.0	0.0	77.2	69.4
Nationalstrasse	120	0.0	0.0	55'000	3'080	10.0	715	5.0	91.1	84.0	0.0	0.0	91.1	84.0
Nationalstrasse	120	0.0	0.0	100'000	5'600	12.1	1'301	10.1	93.9	87.3	0.0	0.0	93.9	87.3

Im Bahnverkehr sind keine Angaben zum Verkehrsaufkommen erhältlich. Die Beispiele für die Eisenbahn beruhen auf einer Emission, die der Strecke Olten-Solothurn mit einem hohen Anteil an Güterzügen und einem Emissions-Beurteilungspegel $L_{r,e}$ von ca. 77 dB(A) tags und 76 dB(A) nachts entspricht.

11.4 Kennwerte pro Gebäude

Die einzelnen Gebäude wurden gemäss der nachfolgenden Abbildung simuliert.

Abbildung 11-7: Übersicht Rasterkennwerte (Besiedlung) pro Gebäude

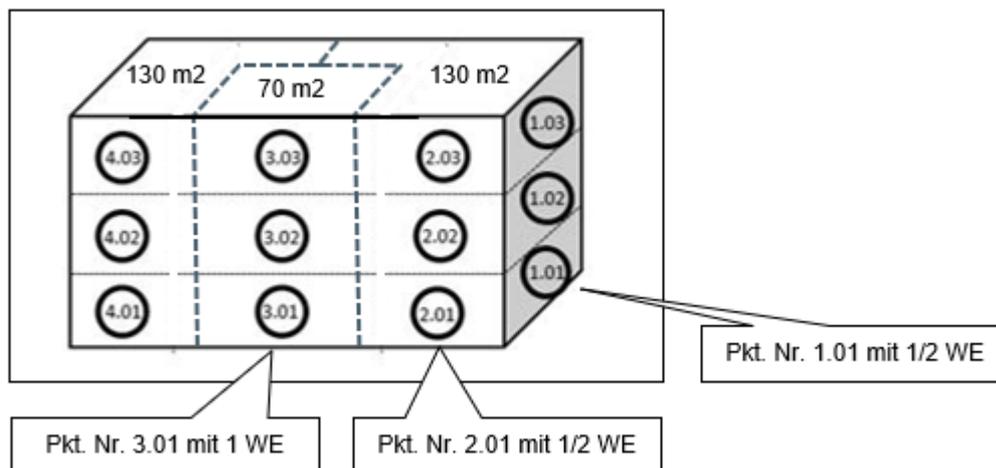
Art	Typ	Etage	AZ	PF [m ²]	GF [m ²]	TGF [m ²]	WE/G	TWE
locker	Weiler	2	keine	---	96	192	0.5	1.0
nicht dicht	EFH	2	0.30	641	96	192	0.5	1.0
dicht	MFH, Büro	4	0.75	1'760	330	1'320	3.0	12.0
Zentrum	MFH, Büro	6	1.60	8'640	2'304	13'824	9.0	54.0

Legende:

- AZ: Ausnützungsziffer = TGF / PF
- EFH: Einfamilienhaus
- MFH: Mehrfamilienhaus
- Etage: Vollgeschoss (es wurden nur Vollgeschosse berücksichtigt)
- PF: Parzellenfläche
- GF: Fläche pro Geschoss
- TGF: Total Geschossfläche
- WE/G: Wohneinheit (mit 3 Personen) pro Geschoss
- TWE: Total Wohneinheiten pro Gebäude
- Büro: Nutzung Büro

Bei allen berechneten Gebäuden wurden an der Strassenfassade und den zwei Seitenfassaden geschossweise Empfangspunkte gesetzt und deren Beurteilungspegel berechnet. Die Gebäude wurden mit einer fortlaufenden «Objekt Nr.» versehen und die Empfangspunkte erhielten eine «Pkt. Nr.». Bei dieser wurde der Fassadenstandort nummeriert und mit dem Wert .01 für das Erdgeschoss und dem Wert .02 für das 1. Obergeschoss etc. ergänzt. Die Lage der Empfangspunkte wurde aus akustischen Überlegungen festgelegt.

Abbildung 11-8: Mehrfamilienhaus mit Lage und Bezeichnung der Empfangspunkte



12 Anhang D – Methoden zur Beurteilung der lärmbedingten Verkehrskosten

Die folgende Abbildung fasst die Methoden zur Beurteilung lärmbedingter Verkehrskosten in der Schweiz zusammen. Für jede Methode wird der Zweck beschrieben sowie anhand einiger Kategorien, ob Kosten von Lärmschutzmassnahmen thematisiert werden, ob eine Monetarisierung von Mietzinsverlusten oder Gesundheitskosten erfolgt, oder ob eine Bewertung über andere Kennzahlen oder eine qualitative Beurteilung stattfindet. In der letzten Spalte rechts sind die zentralen Inhalte und Annahmen stichwortartig beschrieben.

Abbildung 12-1: Beurteilung der lärmbedingten Verkehrskosten in der Schweiz (1/2)

Methoden	Zweck	Kosten von LSM	Belästigung / Mietzinsverluste	Gesundheitskosten	Bewertung über Ausmass / Wirkungskennzahlen	Qualitatives / Deskriptives	Beschreibung / Inhalte / Annahmen
ARE (2014), Externe Kosten des Verkehrs 2010.	Berechnen der verkehrsbedingten externen Kosten in der Schweiz (Aktualisierung der Methodik und der Daten für das Basisjahr 2010)		X	X			<p>Ab Aktualisierung 2010:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kosten durch Belästigung (Mietzinsverluste): - Schwellenwert: 40 dB(A) Nachtlärm, oder 50 dB(A) Taglärm <p>Gesundheitskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schwellenwert: 48 dB(A) L_{eq} - Basis: Personen * ΔdB(A) über Schwellenwert - Kostensätze: Immaterielle Kosten (Zahlungsbereitschaft VO_{SL} / VL_{YL}), Produktionsausfall, Wiederbesetzungskosten, medizinische Behandlungskosten - Differenziert nach Verkehrsträger / Fahrzeugkategorien <p>Aktualisierung 2015: Berücksichtigung des neuen VO_{SL} (Basiswert)</p>
ARE (2018), Externe Kosten des Verkehrs, Aktualisie- rung für 2015	Berechnen der verkehrsbedingten externen Kosten in der Schweiz (Aktualisierung der Methodik und der Daten für das Basisjahr 2015)		X	X			<p>Lärmbedingte Gesundheitskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medizinische Heilungskosten: Marktpreise - Nettoproduktionsausfälle: Marktpreise - Immaterielle Kosten: Zahlungsbereitschaft (VO_{SL} / VL_{YL}) - Wiederbesetzungskosten: Nicht einbezogen! <p>Lärmbedingter Mietzinsausfall (Grundlage: 1'243 CHF pro Monat, Preisstand 2005)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Über 55 dB(A) Tageslärm: 89.50 CHF pro Wohnung pro dB(A) - Über 57 dB(A) Tageslärm: Zusätzlich: +16.72 CHF pro Person pro dB(A) - Über 65 dB(A) Tageslärm: + 19.14 CHF pro Person pro dB(A) <p>- Anpassung erfolgt linear an lokales Mietpreisniveau</p>
VSS (20xx) SN 641 820	Norm zur Durchführung von Kosten-Nutzen- Analysen im Strassenverkehr Bietet Kostensätze für Lärmkosten (Durchschnittskostensätze) zur einfachen Verknüpfung mit Verkehrsleistungen	(X)	X	X	X		

Abbildung 12-2: Beurteilung der lärmbedingten Verkehrskosten in der Schweiz (2/2)

Methodik	Zweck	Kosten von LSM	Belastung / Mehrwert	Gesundheitskosten	Bewertung über Ausmass / Wirkungskennzahlen	Qualitatives / Deskriptives	Beschreibung / Inhalte / Annahmen
ASTRA (2010) NISTRA (Handbuch eNISTRA)	Methodik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Strassenverkehrsprojekten. Lärmindikatoren: - U121: Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort (Anzahl Personen) - U122: Übermässig lärmbelastete Flächen in Schutz- und Erholungsgebieten (Hektaren)		X		X		- Es wird das Wertegrenz aus SN 641 828 (VSS-Norm) verwendet. - U121: Als übermässige Lärmbelastung für Personen gelten Belastungen ab 55 dB(A) Taglärm oder ab 45 dB(A) Nachtlärm. - Mietpreisniveau 2008: 1'306 CHF/Monat - U122: Flächen gelten als übermässig belästigte Flächen bei Belastungen ab 50 dB(A) Taglärm oder 40 dB(A) Nachtlärm. Die Flächen in Schutz- und Erholungsgebieten werden mit der Intensität der Nutzung für Erholungszwecke gewichtet.
BAFU (2014) , Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit	Berechnung der DALY für die Schweiz. Übersicht über die lärmbedingten Gesundheitsrisikofaktoren für das Jahr 2010.		(X)	(X)	(X)		- Schwellenwerte: Siehe Abbildung 7-2 im Hauptbericht - Es wird keine Monetarisierung vorgenommen
BAV (2016) Leitfaden NIBA	Methodik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Schieneninfrastrukturprojekten. Beinhaltet folgende Lärmindikatoren: - 2.1 Lärmbelastung (im Siedlungsgebiet) (KNA) - 2.2 Lärm in Erholungsgebieten (deskriptiv) Vereinfachte Berechnung von Lärmkosten durch den Schienenverkehr über Durchschnittskosten pro Fahr- oder Verkehrsleistung.		X		X		- Vereinfachte Berechnung der Lärmkosten in CHF pro Fzkm oder pro Btkm (öffentlicher Verkehr) nach Verkehrsträger und Verkehrsart. - Mittels «Dynamisierungsfaktoren» kann zur Abschätzung künftiger Kosten ein Reallohnwachstum unterstellt werden. - Grundlage für Kostensätze bildet die SN 641 828 sowie die ARE-Studien zu den externen Kosten des Verkehrs (siehe oben)

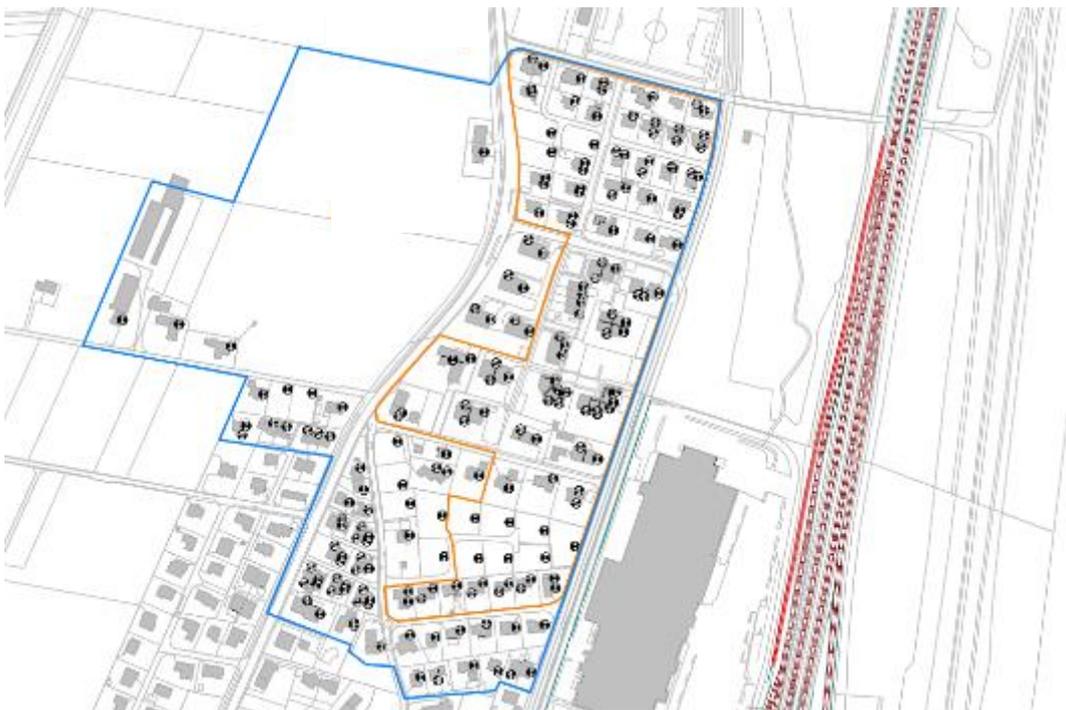
13 Anhang E – Reales Fallbeispiel «Haag» (Sennwald SG)

Neben den «konstruierten» Fallbeispielen im Hauptteil des Berichts wurde zur Illustration der neuen Methodik auch die Beurteilung eines realen Fallbeispiels gewünscht. Nachfolgend wird anhand der Lärmschutzwand entlang der Nationalstrasse in Haag (Gemeinde Sennwald SG) die Berechnung des WTI mit der bisherigen Methode und den neu vorgeschlagenen Änderungen dargestellt. Die folgende erste Abbildung zeigt die Situation:

- Im rechten Teil verläuft die Nationalstrasse
- Unten in der Mitte liegt das Einkaufszentrum «Haag Center» (graue Fläche)
- Die für die Lärmberechnung relevanten Wohngebäude sind links zu finden.

Der **blaue** Perimeter ist so festgelegt, dass die Schwellenwerte gemäss neuer Methodik (40 dB(A) nachts) nicht mehr überschritten werden. Dieser ist grösser als der **orange** Perimeter (bisherige Methodik), der nur die Grenzwerte der Lärmschutzverordnung - 5 dB(A) abdecken muss.

Abbildung 13-1: Vergleich der Perimeter für das Fallbeispiel «Haag»



Die folgende Abbildung zeigt die Abmessungen der Lärmschutzwand sowie die Kostenannahmen. Die Annahmen entsprechen den Standardwerten aus dem WTI-Tool. Das Ergebnis wird sowohl für eine einfache Ausführung (900 CHF/m²) als auch für eine komplexe Ausführung (1'700 CHF/m²) berechnet, weshalb zwei Werte für die Investitionskosten angegeben sind.

Abbildung 13-2: Kennzahlung zur Lärmschutzwand in Haag

Lärmschutzwand	Annahme
Höhe [m]	4.5
Länge [m]	462
Fläche [m ²]:	2'079
Kosten pro m ² [CHF]	900 oder 1'700
Investitionskosten [CHF]	1'871'100 oder 3'534'300
Betrieb und Unterhalt [%]	1.00%
Kapitalzins [%]	3.00%
Lebensdauer [Jahre]	30

Das Ergebnis mit einer komplexen Ausführung ist der folgenden Abbildung 13-3 zu entnehmen, wobei die Lärmbelastung bis zu einer Bautiefe von 13 Baureihen berechnet wurde. Diese Tiefe ist notwendig, um den Schwellenwert von 40 dB(A) nachts vollständig auszureizen.¹⁰⁵ Die Effektivität ist mit 91% in beiden Methoden identisch. Die Effizienz ist mit der neuen Methodik nur leicht tiefer als in der bisherigen Methodik (neu 0.46 statt bisher 0.49).

Die Gesundheitsnutzen können einen grossen Teil der geringeren Mietzinsverluste in der neuen Methodik kompensieren. Die WTI-Werte liegen deshalb ebenfalls relativ nahe beieinander: Bei 1.77 in der bisherigen, resp. 1.66 in der neuen Methodik. In beiden Fällen wäre die Lärmschutzwand «wirtschaftlich tragbar und verhältnismässig» und sollte deshalb realisiert werden.¹⁰⁶

Abbildung 13-3: Ergebnis bei komplexer Ausführung (1'700 CHF/m²), volle Bautiefe

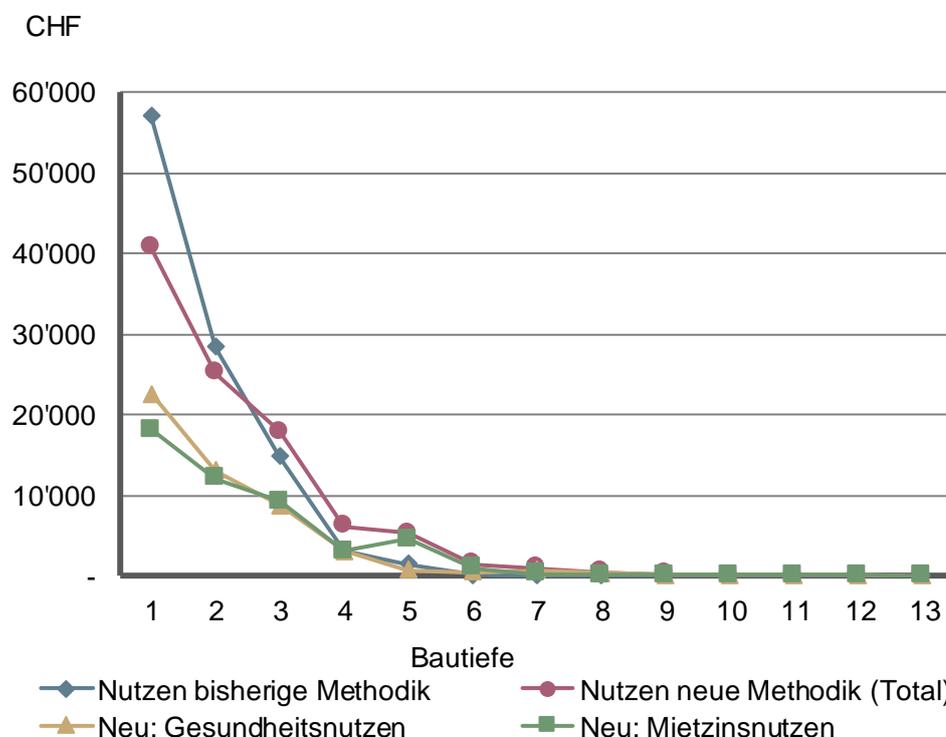
	Bisherige Methodik	Neue Methodik
Effektivität [%]	91	91
Effizienz [NKV]	0.49	0.46
– Kosten [CHF/a]	215'660	215'660
– Nutzen [CHF/a]	104'694	98'454
... Mietzinsnutzen [CHF/a]	104'694	48'646
... Gesundheitsnutzen [CHF/a]	-	49'808
WTI	1.77	1.66

¹⁰⁵ Bis zur 12. Baureihe fallen in der neuen Methodik noch Mietzins- und Gesundheitskosten an. In der bisherigen Methodik fallen bereits ab der 7. Baureihe keine Mietzinsverluste mehr an.

¹⁰⁶ Bei einer einfachen Ausführung ergibt sich noch einmal ein deutlich besseres Ergebnis. Die Effizienz liegt dann bei 0.92 (bisherige Methodik) sowie 0.86 (neue Methodik). Die entsprechenden WTI's liegen bei 3.34 resp. 3.14.

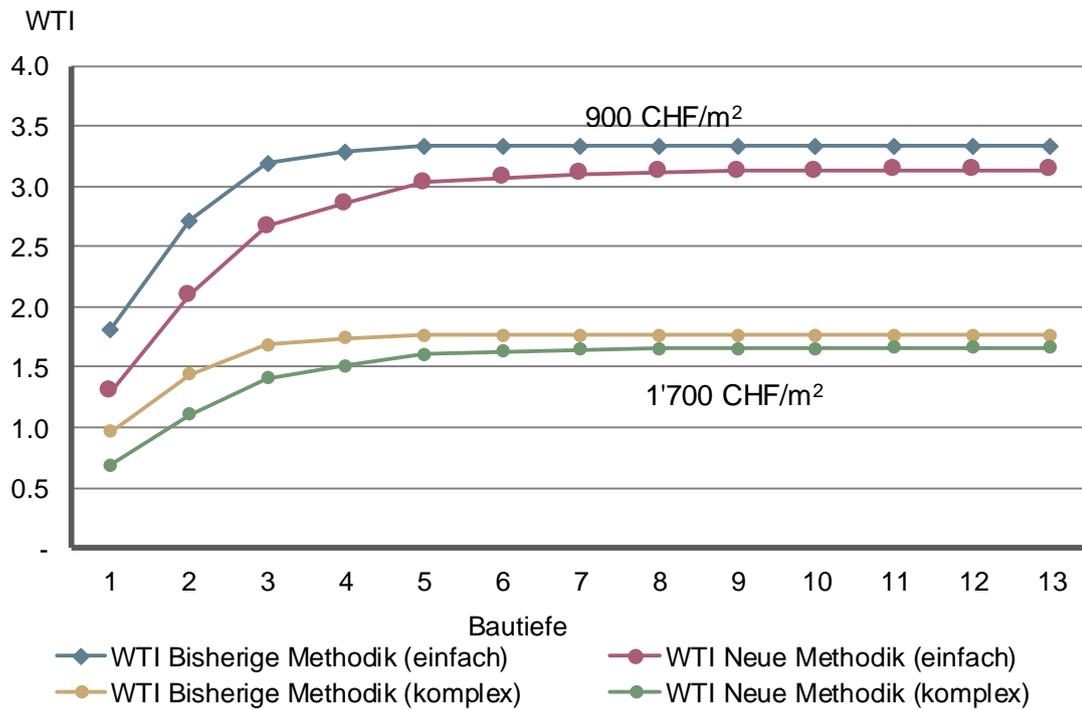
Die folgende Abbildung zeigt die Nutzenkomponenten der bisherigen Methodik (blaue Linie) im Vergleich zur neuen Methodik (rote Linie). Sie illustriert, wie die Nutzen mit jeder Baureihe weiter abnehmen, weil die Lärmreduktionswirkung der Lärmschutzwand nachlässt, je weiter entfernt von der Lärmschutzwand sich ein Gebäude befindet. Es ist zu erkennen, dass in der neuen Methodik ab dem Wert von 3 Baureihen mit jeder zusätzlichen Reihe mehr Nutzen entsteht als in der bisherigen Methodik (Schnittpunkt der roten und blauen Linie). Die Gesundheitsnutzen (grüne Linie) und die Mietzinsverluste (gelbbraune Linie) in der neuen Methodik sind etwa gleich hoch.

Abbildung 13-4: Mietzinsnutzen in der bisherigen und neuen Methodik sowie Gesundheitsnutzen pro Baureihe



Aus der folgenden Abbildung 13-5 lassen sich die WTI-Werte vergleichen, die in Abhängigkeit der einbezogenen bzw. vorhandenen Baureihen entstehen. Die oberen Linien zeigen den WTI nach Baureihen bei einfacher Ausführung und die unteren Linien beinhalten die Kosten einer komplexen Ausführung. In beiden Fällen liegt der WTI sowohl bei der neuen als auch bisherigen Methodik über 1.0. Nur bei einer einzigen Baureihe und bei einer komplexen Ausführung würde der WTI von «genügend» nicht erreicht.

Abbildung 13-5: WTI für die Lärmschutzwand in Haag nach bisheriger und neuer Methodik



Das reale Fallbeispiel «Haag» würde somit bei der bisherigen als auch bei der neuen Methodik einen mindestens genügenden WTI aufweisen.

Literaturverzeichnis

- Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination Kanton Bern (2017)
Hindernisfreie Bushaltestellen. Arbeitshilfe für die Beurteilung der Verhältnismässigkeit.
Bern.
- Bundesamt für Strassen ASTRA (2014)
Wirtschaftliche Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen. Technisches Merkblatt
Projektierung 21 001-21006. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2006)
Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen.
Optimierung der Interessenabwägung. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2014)
Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit Berechnung von DALY für die
Schweiz. Schlussbericht 22. April 2014. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2017),
Schwall-Sunk-Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer.
Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Strassen ASTRA (2006)
UV-0637-D: Leitfaden Strassenlärm. Vollzugshilfe für die Sanierung. Bern.
- Bundesamt für Verkehr BAV (2016)
NIBA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Bahninfrastrukturprojekte. Leitfaden zur Bewertung
von Projekten im Schienenverkehr und elektronisches Rechentool eNIBA. Bern.
- B,S,S / Basler & Hoffmann (2017)
Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen Methode zur Beurteilung von
Lärmschutzmassnahmen. Schlussbericht. Basel.
- Ecoplan (2010)
Handbuch eNISTRA 2010. eNISTRA – ein Tool für zwei sich ergänzende Methoden zur
Bewertung von Strasseninfrastrukturprojekten: NISTRA – Nachhaltigkeitsindikatoren für
Strasseninfrastrukturprojekte KNA – Kosten-Nutzen-Analyse gemäss VSS-Normen SN
641 820 – SN 641 828. Bern.
- Ecoplan / Infrac (2014)
Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und
Gesundheitseffekten. Zürich / Bern.
- Ecoplan / Infrac (2018)
Externe Effekte des Verkehrs 2015. Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-,
Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs
2010 bis 2015. Zürich / Bern.

Fahrländer Partner (2014)

Lärm und Renditeigenschaften. Untersuchung des Lärmeinflusses auf Renditeigenschaften (Wohnen, Büro, Verkauf, Gastronomie). Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Zürich.

PLANAT (2009)

Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden. TEIL A: ALLGEMEINE DARSTELLUNG DES RISIKOKONZEPTS.

WHO (2011)

Burden of disease from environmental noise. Qualification of healthy life years lost in Europe. Kopenhagen.

ZKB (2011)

Ruhe bitte! Wie Lage und Umweltqualität die Schweizer Mieten bestimmen. Studie in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt. Zürich.

ZKB (2012)

Wie Lage und Umweltqualität die Eigenheimpreise bestimmen. Hedonisches Modell für Stockwerkeigentum. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Zürich.