

Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen

Schlussbericht

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Su mandato dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN)

Basel, den 14.7.2017

Überarbeitung der Grundlagen der Kosten-Nutzen-Methode zur Beurteilung von Massnahmen

Schlussbericht

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Verantwortlich seitens Auftraggeber: Nina Mahler

Bundesamt für Umwelt, Worbentalstrasse 68, 3063 Ittigen

Tel: 058 464 07 93, Fax: 058 462 17 57, E-Mail: nina.mahler@bafu.admin.ch

Mitglieder der Begleitgruppe:

BAFU: Urs Walker, Abt. Chef Lärm & NIS; Hans Bögli, Sektionschef Flug-, Industrie- und Schiesslärm; Fredy Fischer, Sektionschef Eisenbahnlärm; Marlène Dias, Sektion Strassenlärm; Rolf Gurtner, Sektion Ökonomie; Nina Mahler, Sektion Flug-, Industrie- und Schiesslärm

BAZL: Theo Rindlisbacher, Denise Zubler, Sektion Umwelt

BAV: Robert Attinger, Philipp Wälterlin, Sektion Umwelt

ASTRA: Yves Pillonel, Abt. N ; Frank Abbühl, Abt. I-Est; Martine Macheret, Abt. I-Ouest

Cercle Bruit: Markus Chastonay, Präsident Cercle Bruit, Kanton Solothurn

Projektleitung und -bearbeitung: Michael Lobsiger (B,S,S.)

Projektbearbeitung: Markus Weber (B&H), Ulrike Huwer (B&H), Wolfram Kägi (B,S,S.), Luzia Zimmermann (B,S,S.)

B,S,S. Volkswirtschaftliche Beratung AG, Steinenberg 5, CH-4051 Basel

Tel: 061-262 05 55, Fax: 061-262 05 57, E-Mail: contact@bss-basel.ch

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	iii
Tabellenverzeichnis.....	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
Zusammenfassung.....	v
1. Einleitung.....	8
1.1. Ausgangslage	8
1.2. Ziele und Methoden	9
2. Beschreibung KN-Methode.....	10
2.1.1. Effizienz.....	10
2.1.2. Effektivität	15
2.1.3. Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI).....	16
3. Überprüfung der Grundlagen	17
3.1. Grundsätzliche Beurteilung	17
3.1.1. Effizienz.....	17
3.1.2. Effektivität	22
3.1.3. Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI).....	23
3.2. Prüfpunkte Kosten	26
3.2.1. Kosten Lärmschutzwände.....	26
3.2.2. Belagskosten.....	31
3.2.3. Kapitalzins	32
3.2.4. Kosten für Betrieb und Unterhalt	33
3.3. Prüfpunkte Nutzen	35
3.3.1. Durchschnittlicher jährlicher Mietpreis	35
3.3.2. (Miet-)Preiseffekte durch Lärmimmission	38
3.3.3. Lärmbedingte Gesundheitskosten.....	42
3.3.4. Untergrenze für Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten	46
4. Berücksichtigung von nicht-baulichen Massnahmen	50
4.1. Ausgangslage	50
4.2. Nicht-bauliche Massnahmen im Verkehrsbereich	51
4.2.1. Überblick	51
4.2.2. Kosten	52

4.2.3. Nutzen.....	53
4.2.4. Fokus Geschwindigkeitsreduktion.....	54
5. Synthese und Simulation	63
5.1. Grundsätzliche Beurteilung	63
5.2. Prüfpunkte Kosten	64
5.3. Prüfpunkte Nutzen	66
5.4. Gesamteinschätzung	71
5.5. Berücksichtigung nicht-baulicher Massnahmen	72
6. Empfehlungen	74
Literaturverzeichnis	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehen Prüfung wirtschaftl. Tragbarkeit & Verhältnismässigkeit	9
Abbildung 2: Übersicht Kostenarten.....	14
Abbildung 3: Effizienz-Effektivitäts-Diagramm	16
Abbildung 4: Entscheidungsdiagramm.....	19
Abbildung 5: Effektivitäts-Effizienz-Diagramm	24
Abbildung 6: Kostenübersicht Strassen (nach Gebiet gegliedert)	28
Abbildung 7: Kostenübersicht Nationalstrassen	29
Abbildung 8: Kostenübersicht Bahn (nach Material gegliedert)	29
Abbildung 9: Rendite von Bundesobligationen (10 & 30 Jahre), 1988-2016.....	33
Abbildung 10: Reisezeiten 2001, 2004 und 2006	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Belastungsgrenzwerte für Strassenverkehrslärm gemäss LSV	12
Tabelle 2: Übersicht Mietpreisfaktoren	13
Tabelle 3: Berücksichtigung Kosten und Nutzen in der aktuellen KN-Methode ..	22
Tabelle 4: Berücksichtigung Kriterium der Effektivität	26
Tabelle 5: Kosten pro m ² für Lärmschutzwände >100 m ²	30
Tabelle 6: Unterhaltskosten Lärmschutzwand	34
Tabelle 7: Anteil Unterhaltskosten Lärmschutzwand an Investitionskosten	34
Tabelle 8: Aufdatierung Mietpreis.....	36
Tabelle 9: Aktualisierungsschritte Mietpreis	36
Tabelle 10: Preisfaktoren aus der Literatur.....	38
Tabelle 11: Kostensätze lärmbedingte Gesundheitskosten	46
Tabelle 12: Schwellenwerte Mietpreisabschläge und Gesundheitskosten	48
Tabelle 13: Massnahmen im Bereich Strassenverkehr	52
Tabelle 14: Übersicht Kosten Bereich Strassenverkehr	53
Tabelle 15: Übersicht Kosten und Nutzen Geschwindigkeitsreduktion	62
Tabelle 16: Simulation Veränderung Kapitalzins	65
Tabelle 17: Simulation Veränderung Kosten Lärmschutzwand	66
Tabelle 18: Simulation Veränderung Kosten Belag.....	66
Tabelle 19: Simulation Veränderung Mietpreis.....	68

Tabelle 20: Simulation Veränderung Mietpreisfaktoren und Schwellenwerte	69
Tabelle 21: Berechnungsbeispiel lärmbedingte Gesundheitskosten im Strassenverkehr	70
Tabelle 22: Simulation Berücksichtigung Gesundheitskosten.....	71
Tabelle 23: Simulation alle Veränderungen.....	71
Tabelle 24: Übersicht Empfehlungen	74

Abkürzungsverzeichnis

ASTRA	Bundesamt für Strassen
AW	Alarmwert
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BGF	Bruttogeschossfläche
BFS	Bundesamt für Statistik
IGW	Immissionsgrenzwert
KN-Methode	Kosten-Nutzen-Methode
LSM	Lärmschutzmassnahmen
LSV	Lärmschutzverordnung
PW	Planungswert
SRU	Schriftenreihe Umwelt
WTI	Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit
ZKB	Zürcher Kantonalbank

Zusammenfassung

Als Vollzugshilfe zur Überprüfung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen wird eine Kosten-Nutzen Methode verwendet. Im Zentrum der Methode steht eine Interessenabwägung mittels Beurteilung von *Effizienz* und *Effektivität* bzw. *Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit* (WTI). Im Rahmen dieses Mandats wurden die Grundlagen für die Überarbeitung der KN-Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen erarbeitet. Dabei wurden die vorgegebenen / hinterlegten Werte für Kosten der Massnahmen und für die Mietpreisreduktionen (Mietpreis, Mietpreisfaktoren, Schwellenwerte) kritisch überprüft und aktualisiert. Weiter wurde geprüft, ob und wie lärmbedingte Gesundheitskosten im Modell integriert werden könnten und wie die Methode angepasst werden müsste, um auch nicht-bauliche Massnahmen zu beurteilen. Die Überprüfung der KN-Methode wurde auf der Grundlage der aktuellen Literatur vorgenommen. Für die Aktualisierung von Inputdaten wurde auf Daten des Bundesamts für Statistik (BFS) und (Kosten-)Daten zu Lärmschutzmassnahmen von Kantonen, von Städten, vom ASTRA und BAV zurückgegriffen. Die wichtigsten Erkenntnisse lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

Grundsätzliche Beurteilung:

- Um die KN-Methode für die Beurteilung eines breiten Spektrums an Massnahmen offen zu halten, wären die Wirkungen einer Massnahme (Kosten und Nutzen) möglichst umfassend zu berücksichtigen. Dies bedeutet, dass Wirkungen, die nicht monetarisiert werden können, als zusätzliche quantitative oder qualitative Indikatoren in die Beurteilung einfließen sollten. Gewichtung der Indikatoren für aggregierte Beurteilung wäre festzulegen.
- Bemessung der Effektivität über die Gebäudefläche und die Anzahl der von Lärm betroffenen Personen.
- Die Verrechnung von Effizienz und Effektivität zum WTI wäre grundsätzlich zu überdenken. Berücksichtigung der Effektivität als eigenständiger Indikator neben dem NK-Verhältnis.

Betriebswirtschaftliche Kosten:

- Die Kosten (pro Quadratmeter) für die Lärmschutzwände sind stark abhängig von Region, Material und Fläche. Die Verwendung eines Mittelwerts ist einer differenzierten Betrachtung der Kosten vorzuziehen, da im Planungsstand das Material in der Regel nicht bekannt ist und eine regionale Abgrenzung nicht (immer) eindeutig vorgenommen werden kann. Begründete Abweichungen vom Mittelwert wären zu ermöglichen.

- Die (Zusatz-)Kosten für lärmarme Beläge stammen in erster Linie aus der kürzeren Lebensdauer der Deckbeläge. Über die Lebensdauer der Beläge liegen noch wenig breit abgestützte Erkenntnisse vor.
- Bei Lärmschutzwänden fallen während der gesamten Lebensdauer an den Wänden selbst keine nennenswerten Unterhaltskosten an. Einzig für die Bepflanzung des der Fläche zwischen Wand und Strasse wird je nach Bepflanzung Unterhalt erforderlich. Kosten für Betrieb und Unterhalt von Belägen sind schwierig zu ermitteln. Entsprechend schwierig ist die Identifikation von Unterschieden in den Betriebs-/Unterhaltskosten. Auf der Grundlage der uns vorliegenden Informationen finden sich keine Hinweise auf unterschiedliche Kosten für Betrieb und Unterhalt zwischen Referenz- und Alternativbelägen.
- Die Umrechnung der Investitionskosten auf jährliche Kosten erfolgt mit der sog. Annuitätenmethode. Hierfür ist ein Kapitalzins einzusetzen. Dieser Zinssatz orientiert sich an (langfristigen) Renditen von Obligationen der Schweizerischen Eidgenossenschaft.

Volkswirtschaftlicher Nutzen:

- Eine Aktualisierung des durchschnittlichen Mietpreises kann auf der Grundlage der jeweils aktuell verfügbaren Strukturhebung des BFS vorgenommen werden.
- Auf dieser Basis können unter Berücksichtigung von Mietpreisfaktoren lärmbedingte Mietpreisreduktionen berechnet werden. Empirische Ergebnisse zu den Mietpreisabschlägen aufgrund von Lärmimmissionen zeigen, dass die Mietpreisfaktoren (teilweise) deutlich tiefer sind als die Faktoren, die in der aktuellen KN-Methode verwendet werden. Differenzierungen nach Lärmquellen und Eigentumsverhältnissen wären denkbar. Eine Abhängigkeit von der Höhe der Lärmbelastung erscheint dagegen nicht angebracht.
- Eine Anpassung der Mietpreisabschläge würde auch eine Anpassung der Untergrenze für Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten nach sich ziehen. Ein Verzicht auf die Unterscheidung der Schwellenwerte zwischen bestehenden und neuen Anlagen sowie nach Empfindlichkeitsstufen wäre, unter Berücksichtigung von raumplanerischen und praktischen Überlegungen, zu prüfen.
- Zusätzlich zu den lärmbedingten Mietpreisabschlägen wären lärmbedingte Gesundheitskosten zu berücksichtigen.

Berücksichtigung nicht-baulicher Massnahmen:

- Da sich die Wirkungen von nicht-baulichen Massnahmen nicht auf direkt mit der Lärmreduktion verbundenen Kosten und Nutzen beschränken, müsste die Methode entsprechend angepasst werden.

- Erschwerend kommt hinzu, dass keine Standardwerte für die betriebswirtschaftlichen Kosten (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten) zur Verfügung stehen. Diese müssten projektspezifisch erfasst werden.
- An der Massnahme Geschwindigkeitsreduktion wird beispielhaft aufgezeigt, welche Kosten und Nutzen entstehen und wie diese in die Beurteilung einbezogen werden könnten, zentrale Herausforderungen (Quantifizierung der Lärmwirkung von Tempo 30 Massnahmen, Abbildung und Bewertung von Auswirkungen von Geschwindigkeitsreduktionen auf Reisezeitveränderungen und die gesamthafte Beurteilung einer Massnahme unter Berücksichtigung verschiedener, auch qualitativer Indikatoren) werden benannt.
- Insgesamt erscheint die Beurteilung von nicht-baulichen Massnahmen generell und von Geschwindigkeitsreduktionen speziell mit der bestehenden KN-Methode nicht möglich. Die Methode müsste grundlegend überarbeitet werden.

Gesamteinschätzung:

- Eine Simulation zeigt, dass Effizienz und WTI unter den getroffenen Annahmen insgesamt deutlich sinken. Hauptverantwortlich dafür sind die für die Simulation reduzierten Mietpreisfaktoren. Würden diese Anpassungen vorgenommen, müssten die Massnahmen im Vergleich zu heute stärkere Lärmreduktionen vollbringen können, um auf Basis einer Beurteilung mittels WTI insgesamt positiv beurteilt zu werden.

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

Als Vollzugshilfe zur Überprüfung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen wird eine vom damaligen Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) bzw. dem heutigen Bundesamt für Umwelt (BAFU) entwickelte Kosten-Nutzen Methode (KN-Methode) verwendet.¹ Für die Berechnungen steht ein Excel-basiertes Berechnungsmodul zur Verfügung.²

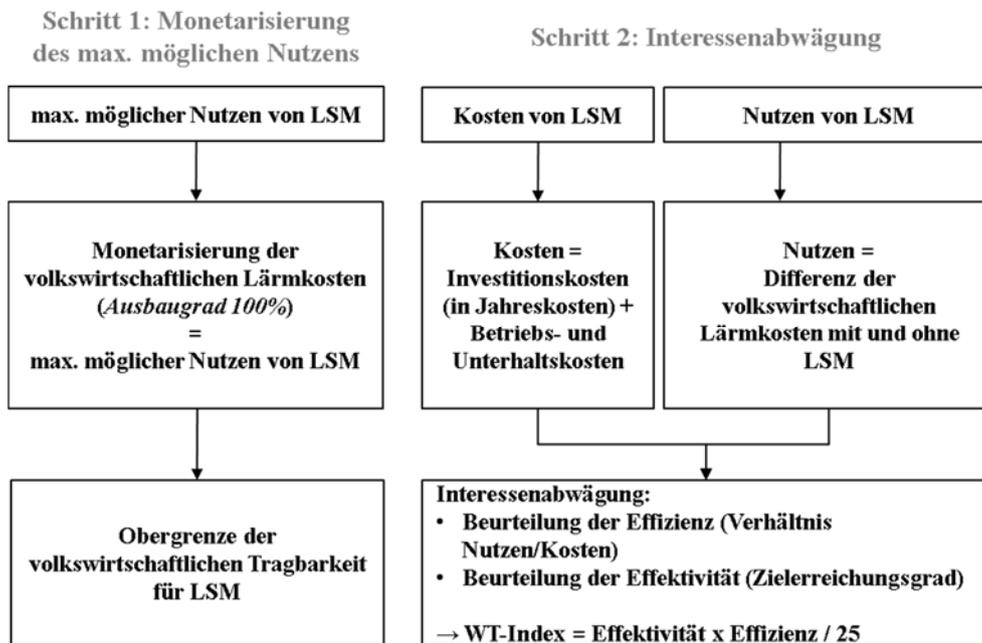
Das Vorgehen gliedert sich in zwei Schritte. In einem *ersten Schritt* wird die Obergrenze für die volkswirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit bestimmt. Diese Obergrenze ergibt sich aus dem maximal möglichen Nutzen, der durch die Lärmschutzmassnahme in einem bestimmten Gebiet erzielt werden kann. Der Wert gibt einen Hinweis darauf, in welcher Grössenordnung sich die Kosten für Lärmschutzmassnahmen bewegen dürfen. In einem *zweiten Schritt* erfolgt eine Interessenabwägung mittels Beurteilung von Effizienz und Effektivität. Die *Effizienz* ergibt sich dabei aus der Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten. Die *Effektivität* zeigt an, welchen Beitrag die Massnahme zur Zielerreichung (Einhaltung der Grenzwerte) leisten kann. Zur Interessenabwägung wird anschliessend aus den Effizienz- und Effektivitätswerten der *Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit* (WTI) berechnet. Werte des WTI grösser als 1 zeigen an, dass Lärmschutzmassnahmen verhältnismässig sind und umgesetzt werden sollten. Abbildung 1 zeigt das Vorgehen schematisch auf.

¹ Egger, M., Roth, G., Bayer, R. und Fahrländer, K.L. (1998). Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 301. Bichsel, M. und Muff, W. (2006). Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Optimierung der Interessenabwägung. Umwelt-Vollzug Nr. 0609. Bundesamt für Umwelt.

² Schguanin, G. und Ziegler, T. (2006). Leitfaden Strassenlärm. Vollzugshilfe für die Sanierung. Stand: Dezember 2006. Umwelt-Vollzug Nr. 0637. Bundesamt für Umwelt, Bern.

- Anhang 4a: Grundsätze für die Anwendung von SRU-301 und UV-0609 (Version: 18.12.2007)
- Anhang 4b: Kostengrundlagen für die Anwendung von SRU-301 und UV-0609 bei Lärm-sanierungsprojekten (Version: 18.12.2007).
- Anhang 4c: Benutzer-Handbuch für WT-Excel-Tool UV-0637.
- Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4: Ermittlung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen nach UV-0637. Benutzerhandbuch. Bundesamt für Umwelt, Bern (Stand: 15. Januar 2015).

Abbildung 1: Vorgehen Prüfung wirtschaftl. Tragbarkeit & Verhältnismässigkeit



Quelle: In Anlehnung an Abb. 7.3, SRU Nr. 301.

1.2. Ziele und Methoden

Die Methode ist rund 20 Jahre alt und soll aktualisiert werden. Das Bundesamt für Umwelt hat B,S,S. Volkswirtschaftliche Beratung AG in Zusammenarbeit mit Basler & Hofmann AG beauftragt, die Grundlagen für die Überarbeitung der KN-Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen zu erarbeiten. Dabei stehen folgende Ziele im Vordergrund:

- Überprüfung und Aktualisierung der vorgegebenen Werte (Kosten der Massnahmen, Kosten für Betrieb und Unterhalt, Lebensdauer, durchschnittlicher Mietpreis).
- Kritische Überprüfung der im Modell hinterlegten Mietpreisreduktion durch Lärmimmissionen (Höhe, mögliche Differenzierung nach Lärmarten, mögliche Abhängigkeit vom Niveau der Lärmimmission).
- Ergänzung der volkswirtschaftlichen Kosten um die lärmbedingten Gesundheitskosten.
- Überprüfung der für die Entstehung von volkswirtschaftlichen Kosten angenommenen Schwellenwerte der Lärmbelastung.

- Erweiterung der KN-Methode zur Beurteilung von nicht-baulichen Massnahmen mittels WTI.

Die Überprüfung der KN-Methode wurde auf der Grundlage der aktuellen Literatur vorgenommen. Für die Aktualisierung von Inputdaten wurde auf Daten des Bundesamts für Statistik (BFS) und (Kosten-)Daten zu Lärmschutzmassnahmen von Kantonen, von Städten, vom ASTRA und BAV zurückgegriffen.

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 wird die aktuelle Methode näher beschrieben. Dabei wird in Unterkapiteln eingehender auf die Elemente Effizienz (vgl. Kapitel 2.1.1) und Effektivität (vgl. Kapitel 2.1.2) sowie auf die Interessenabwägung mittels WTI (Kapitel 2.1.3) eingegangen. In Kapitel 3 erfolgt die Prüfung der Grundlagen. Dabei werden in Kapitel 3.1 zuerst grundsätzliche Überlegungen zur Methode angestellt, bevor in Kapitel 3.2 und 3.3 einzelne Aspekte der KN-Methode untersucht werden. Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Berücksichtigung von nicht-baulichen Massnahmen in der KN-Methode. Kapitel 5 fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen. Wo möglich werden die Auswirkungen von Aktualisierungen und Anpassungen mittels Simulation quantifiziert. Hierzu greifen wir auf das Berechnungsbeispiel aus dem Benutzerhandbuch (Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4) zurück. In Kapitel 6 werden Empfehlungen aus Sicht des Beraterteams aufgenommen.

2. Beschreibung KN-Methode

Im folgenden Kapitel wird die aktuelle Methode beschrieben. Die folgenden Kapitel, insbesondere Kapitel 3 mit der Prüfung der Grundlagen, werden Bezug auf den Inhalt dieses Kapitels nehmen. Das Kapitel gliedert sich in drei Unterkapitel: Zuerst wird auf die Beurteilung der Effizienz (vgl. Kapitel 2.1.1) und der Effektivität (vgl. Kapitel 2.1.2) eingegangen. Anschliessend wird die Interessenabwägung mittels WTI (Kapitel 2.1.3) besprochen.

2.1.1. Effizienz

Die *Effizienz* ergibt sich aus der Gegenüberstellung von (volkswirtschaftlichen) Jahreskosten und Jahresnutzen (vgl. Formel 5, Anhang 4a zur UV-0637):

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

Jahresnutzen

Der Jahresnutzen ergibt sich aus der Differenz der volkswirtschaftlichen Lärmkosten ohne ($VK_{\text{lärm,ohne}}$) und mit ($VK_{\text{lärm,mit}}$) Lärmschutzmassnahme.³ Die volkswirtschaftlichen Lärmkosten (VK) ergeben sich aus dem durchschnittlichen jährlichen Mietpreis multipliziert mit dem Mietpreisabschlag:

$$VK = \underbrace{\overline{JMP} \cdot BGF}_{\substack{\text{durchschnittlicher} \\ \text{Mietpreis [Fr./Jahr]}}} \cdot \underbrace{\Delta dB(A) \cdot MPF}_{\text{Mietpreisabschlag [\%]}}$$

Dabei stehen:

\overline{JMP}	Mittlerer Jahresmietpreis pro m ² BGF [Fr./m ² *Jahr]
BGF	Bruttogeschossfläche mit Lärmbelastung über einem bestimmten Grenzwert [m ²]
$\Delta dB(A)$	Überschreitung der Grenzwerte [dB(A)]
MPF	Mietpreisfaktor [%/dB(A)]

Nachfolgend wird auf wichtige Elemente der Berechnung eingegangen:

Grenzwerte, ab welchen die Lärmbelästigung zu einem Mietpreisabschlag führt: Gemäss SRU Nr. 301 ist die „Festlegung einer Untergrenze volkswirtschaftlicher Kosten von Lärm weder aus akustischer noch aus ökonomischer Sicht wissenschaftliche eindeutig begründbar“ (S. 37). Es wurde deshalb als sinnvoll erachtet, die Untergrenzen an den Belastungsgrenzwerten der Lärmschutzverordnung (LSV) zu orientieren. In der aktuellen KN-Methode wird die Annahme getroffen, dass volkswirtschaftliche Kosten ab 5 dB(A) unter dem massgebenden Grenzwert der LSV entstehen.⁴ Die massgebenden Grenzwerte werden nach Empfindlichkeitsstufen, Tages- und Nachtwerten sowie nach Art der Anlage⁵ (neu, bestehend) diffe-

³ Gemäss SRU Nr. 301 werden unter volkswirtschaftlichen Kosten interne (von Verursacher getragen) und externe Kosten (von Dritten/Gesellschaft getragen) verstanden.

⁴ Gemäss SRU Nr. 301 ist davon auszugehen, dass mit der Abstützung der Grenzwerte auf die Belastungsgrenzwerte der LSV die volkswirtschaftlichen Kosten unterschätzt werden, da sich Personen auch unterhalb dieser Grenzwerte durch Lärm gestört fühlen können (S. 38).

⁵ Da für Neuanlagen ein strengerer Massstab angesetzt wird als für bestehende Anlagen, führt dies gemäss SRU Nr. 301 dazu, dass bei sonst identischer Ausgangslage Neuanlagen höhere Lärmkosten zugewiesen erhalten (bzw. eine Lärmschutzmassnahme bei Neuanlagen einen grösseren Nutzen ausweist als bei bestehenden Anlagen).

renziert. In Tabelle 1 sind die Belastungsgrenzwerte nach LSV für den Strassenverkehr aufgeführt. Bspw. kommen für lärmbelastete Gebäudeflächen bei Neubauten in Wohnzonen Untergrenzen von 50 dB(A) (Tag) bzw. 40 dB(A) (Nacht) zum Tragen.

Tabelle 1: Belastungsgrenzwerte für Strassenverkehrslärm gemäss LSV

Empfindlichkeitsstufe	PW		IGW		AW	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
I: Erholungszonen	50	40	55	45	65	60
II: Wohnzonen	55	45	60	50	70	65
III: Wohn- und Gewerbebezonen	60	50	65	55	70	65
IV: Industriezonen	65	55	70	60	75	70

Quelle: AS 1987 338, Lärmschutzverordnung (LSV).

Mittlerer Jahresmietpreis: Der durchschnittliche jährliche Mietpreis pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche dient als (Preis-)Basis zur Berechnung des Nutzens aus einer LSM. Es wird mit einem Wert von Fr. 150 pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche und Jahr gerechnet. Der Preis wurde auf der Grundlage von Mietwohnungen ermittelt. Regionale Unterschiede in den Mietpreisen (bspw. zwischen Kantonen oder zwischen Stadt und Land) werden nicht berücksichtigt. Gemäss Anhang 4a zur UV Nr. 0637 würde eine solche Differenzierung den Grundsätzen der LSV und der Gleichbehandlung aller Betroffenen widersprechen.⁶ Der durchschnittliche Mietpreis wird unabhängig von den Eigentumsverhältnissen (Mietwohnung oder Eigenheim) und der Nutzung (Wohnen, Gewerbe) verwendet.

Monetarisierung: Die Monetarisierung der volkswirtschaftlichen Kosten erfolgt über eine quantifizierte Belastungs-Wirkungs-Beziehung zwischen Lärmbelastung und Mietzinsabschlag (sog. Mietpreisfaktoren). Die Mietpreisfaktoren geben dabei die prozentuale Veränderung des Mietpreises bei einer Zunahme der Lärmbelastung um ein dB(A) an. Die hinterlegten Mietpreisfaktoren wurden aus der nationalen und internationalen Literatur abgeleitet und beziehen sich auf den Strassenlärm.⁷ Im Modul zur Berechnung des WTI werden Mietpreisfaktoren von 0.8%-1%

⁶ In SRU Nr. 301 wird darauf hingewiesen, dass eine lokale, auf das Projektgebiet bezogene Ermittlung des Mietpreises aus erhebungstechnischen und datenschutzrechtlichen Gründen nicht möglich ist. Im Bericht (S. 74f.) werden nach Regionstypen differenzierte Mietpreise aufgeführt.

⁷ Vgl. SRU Nr. 301, Anhang 1.

pro dB(A) Lärmerhöhung unterstellt. Die Mietpreisreduktion pro Lärmzunahme dB(A) ist abhängig von Lärmklassen (LK) (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Übersicht Mietpreisfaktoren

LK		Anlagen	Mietpreisfaktor
1	LB > AW	alle	1.0%
2	AW > LB > IGW	alle	0.9%
3	IGW > LB > IGW-5 dB(A)	bestehend	0.8%
	IGW > LB > PW	neu	
4	PW > LB > PW-5 dB(A)	neu	0.8%

Quelle: Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4. Bemerkungen: LB: Lärmbelastung; IGW: Immissionsgrenzwert; PW: Planungswert; AW: Alarmwert.

Die Methode sieht bei den Mietpreisfaktoren keine Differenzierung nach verschiedenen *Lärmquellen* (Strassenlärm, Bahnlärm, Fluglärm) vor. Mangels empirischen Studien konnte damals keine Einschätzung bzgl. Differenzierung der Mietpreisfaktoren nach verschiedenen Nutzungsarten (Wohnnutzung, Geschäftsnutzung) erfolgen. Gemäss SRU Nr. 301 (S. 54) ist eine Differenzierung des Mietpreisfaktors nach Nutzungsarten aus folgenden Gründen aber nicht notwendig:

- Durch die Berücksichtigung von Empfindlichkeitsstufen haben lärmempfindliche Zonen einen tieferen Grenzwert (und entsprechend höhere mittlere Grenzwertüberschreitungen).
- Durch die Berücksichtigung der Ausnutzungsziffer werden Industrie- und Gewerbeflächen weniger stark berücksichtigt (bzw. nur lärmempfindliche Nutzungen).
- Gemäss Einschätzung von Fachexperten ist davon auszugehen, dass die Störwirkung des Lärms am Arbeitsplatz gleich ist wie im Wohnbereich.

Jahreskosten

Gemäss SRU Nr. 301 werden *betriebswirtschaftliche* und *volkswirtschaftliche* Kosten von LSM unterschieden. Unter volkswirtschaftlichen Kosten von LSM sind gemäss SRU Nr. 301 (S. 31) alle negativen Folgewirkungen von LSM zu verste-

hen, die nicht nach betriebswirtschaftlichen Kriterien erfasst werden können.⁸ In Abbildung 2 werden die betriebs- und volkswirtschaftlichen Kosten aufgeführt.

Abbildung 2: Übersicht Kostenarten

Kosten	
Betriebswirtschaftliche Kosten	Volkswirtschaftliche Kosten
<ul style="list-style-type: none"> • Investitionskosten • Betriebskosten • Unterhaltskosten 	Beeinträchtigungen <ul style="list-style-type: none"> • Orts- und Landschaftsbild • Wohnqualität Anwohnerschaft • Verkehrssicherheit • Erlebnisqualität von Verkehrsteilnehmer/Innen Ökologische Auswirkungen

Quelle: In Anlehnung an Abb. 7.3, SRU Nr. 301.

Nachfolgend wird auf die betriebs- und volkswirtschaftlichen Kosten näher eingegangen.

Als *betriebswirtschaftliche Kosten* werden Investitionskosten sowie Betriebs- und Unterhaltskosten der Massnahmen betrachtet. Der Vergleich von Nutzen und Kosten wird auf Basis von Jahreswerten vorgenommen. Während die Betriebs- und Unterhaltskosten jährlich anfallen, müssen die Investitionskosten, die zu Beginn der Betrachtungsperiode einmalig anfallen, auf Jahreskosten umgerechnet werden. Diese Umrechnung wird mit der sog. *Annuitätenmethode* vorgenommen. Dabei wird der Kapitalwert (*net present value*) einer Investition unter Einbezug der Kapitalverzinsung auf die Lebensdauer der Massnahme verteilt.⁹ Die Jahreskosten der LSM werden folgendermassen berechnet (vgl. Formel 1, Anhang 4 zur UV-0637):

$$\text{Jahreskosten} = \frac{I}{100} \cdot \left[\left[\frac{i}{1 - \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{-n}} \right] + \text{Anteil Unterhalt} \right]$$

⁸ Auf der Nutzenseite wird der Begriff der volkswirtschaftlichen Kosten ebenfalls verwendet. Dort werden unter volkswirtschaftlichen Kosten sowohl interne (vom Verursacher getragene) als auch externe (von Dritten/der Gesellschaft getragene) Kosten verstanden.

⁹ Mechanismus: Sinkt der Kapitalzinssatz, nehmen die jährlichen Kosten ab. Steigt der Kapitalzinssatz, nehmen die jährlichen Kosten zu.

Dabei stehen:

- I Investitionskosten [in Fr.]
 i Kapitalzinssatz [in %]
 n Lebensdauer einer Lärmschutzmassnahme [in Jahren]

Die Kosten für Betrieb und Unterhalt werden als Anteil der Investitionskosten ausgedrückt.

In der SRU Nr. 301 wird auf die Problematik von *Mehrfachnutzungen* hingewiesen. Falls die Massnahmen auch andere Funktionen erfüllen (bspw. einen Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssicherheit leisten), ist eine funktionelle Abgrenzung vorgesehen. Es sind nur diejenigen Kosten zu berücksichtigen, die der Funktion „Lärmschutz“ angelastet werden können.

Die Methode zur Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von LSM sieht auch den Einbezug von *volkswirtschaftlichen Kosten* vor. Gemäss SRU Nr. 301 wird davon ausgegangen, dass diese Kosten nicht monetarisiert werden können. Daher können in der Beurteilung von LSM auf der Kosten- seite zusätzliche Indikatoren *qualitativ* berücksichtigt werden.

2.1.2. Effektivität

Die *Effektivität* zeigt an, welchen Beitrag die Massnahme zur Zielerreichung (Einhaltung der gesetzlichen Zielvorgaben) leisten kann und ergibt sich aus der prozentualen Veränderung der lärmbelasteten Gebäudefläche bei Umsetzung der betrachteten LSM (vgl. Formel 6, Anhang 4 zur UV-0637):

$$\text{Effektivität} = \frac{\sum_i GF_{\text{Lärm,ohne,LK}_i} \cdot \Delta dB(A)_{\text{LK}_i} - \sum_i GF_{\text{Lärm,mit,LK}_i} \cdot \Delta dB(A)_{\text{LK}_i}}{\sum_i GF_{\text{Lärm,ohne,LK}_i} \cdot \Delta dB(A)_{\text{LK}_i}} \cdot 100$$

Dabei stehen:

- $GF_{\text{Lärm,ohne,LK}_i}$ Lärmbelastete Gebäudefläche mit LSM [in m²], differenziert nach Lärmklassen i (i = 1,2,3)
 $GF_{\text{Lärm,mit,LK}_i}$ Lärmbelastete Gebäudefläche ohne LSM [in m²], differenziert nach Lärmklasse i (i = 1,2,3)

$\Delta dB(A)$ Effektive Überschreitung vom Grenzwert [in dB(A)], differenziert nach Lärmklasse i ($i = 1,2,3$)

2.1.3. Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI)

Zur Interessenabwägung wird anschliessend aus den Effizienz- und Effektivitätswerten der Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WT-Index/WTI) berechnet:

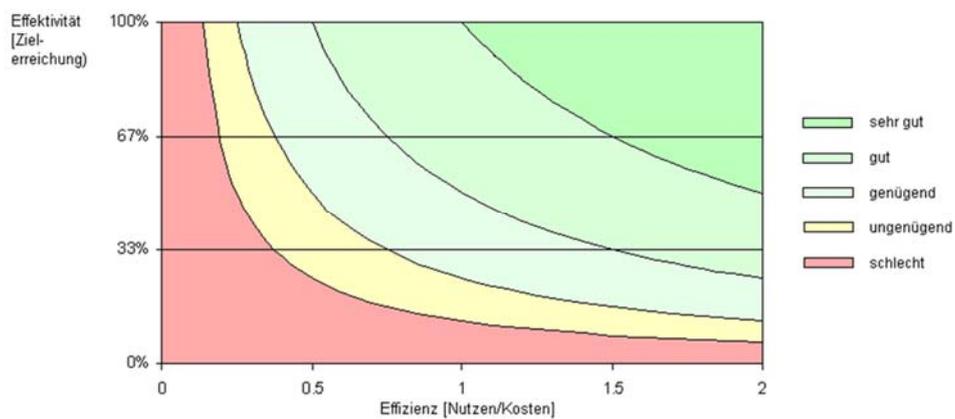
$$WTI = \frac{\text{Effektivität} \cdot \text{Effizienz}}{25}$$

Werte des WTI grösser als 1 zeigen an, dass Lärmschutzmassnahmen verhältnismässig sind und umgesetzt werden sollten.

Die Werte des WTI werden wie folgt beurteilt (vgl. auch Abbildung 3):

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

Abbildung 3: Effizienz-Effektivitäts-Diagramm



Quelle: Umwelt-Vollzug Nr. 0906, BAFU 2006.

Das Kriterium der Effektivität wird neben dem Kriterium der Effizienz „gleichberechtigt“ in die Interessenabwägung einbezogen. Dies ist ein bewusster Entscheid, sollen gemäss SRU Nr. 301 (S. 59) mit dem Kriterium der Effektivität neben der ökonomischen Betrachtungsweise (Effizienz) auch die gesellschaftspolitischen Zielvorstellungen in die Beurteilung miteinbezogen werden.

3. Überprüfung der Grundlagen

In den folgenden Kapiteln nehmen wir eine Überprüfung der Grundlagen vor. Dabei werden in Kapitel 3.1 zuerst grundsätzliche Überlegungen zur Methode angestellt, bevor in Kapitel 3.2 und Kapitel 3.3 einzelne Aspekte der KN-Methode untersucht werden.

3.1. Grundsätzliche Beurteilung

In diesem Kapitel sollen die Elemente Effizienz, Effektivität und Interessenabwägung mittels WTI grundsätzlich beurteilt werden. Dies insbesondere auch vor dem Hintergrund, das Spektrum möglicher Massnahmen, die mit der KN-Methode beurteilt werden können, nach Möglichkeit um nicht-bauliche Massnahmen zu erweitern (vgl. Kapitel 4).

3.1.1. Effizienz

Der Anwendungsbereich der heutigen KN-Methode zur Beurteilung von LSM ist gemäss SRU Nr. 301 (S. 33) auf Massnahmen beschränkt, deren Wirkungen und Kostenfolgen projektspezifisch, lokal eingrenzbar und quantifizierbar (und monetarisierbar) sind.¹⁰

Der Aspekt der Quantifizierung und Monetarisierung ist von besonderer Bedeutung und soll nachfolgend näher betrachtet werden. Eine KN-Analyse bedingt, dass sowohl Kosten wie auch Nutzen (möglichst) *vollständig* und *unverzerrt* quantitativ, mittels einer einheitlichen Messgrösse, abgebildet werden können. Geld hat sich als diese einheitliche Messgrösse etabliert (vgl. Kägi et al. 2015).¹¹ Vollständig heisst, dass alle Kosten und Nutzen, die mit einer Massnahme verbunden sind, auch berücksichtigt werden. Unverzerrt bedeutet, dass die Kostensätze, die zur

¹⁰ Kosten für lärmtechnische Massnahmen an „mobilen“ Quellen (Fahrzeuge, Motoren) werden gemäss SRU Nr. 301 dieser Anforderung bspw. nicht gerecht.

¹¹ Wird das utilitaristische Nutzenkalkül akzeptiert, dürfen bspw. Staukosten mit Gesundheitsnutzen „aufgewogen“ werden. Das Ziel der Analyse ist es gerade, Kosten und Nutzen in einer einheitlichen (monetären) Einheit auszudrücken und zu vergleichen.

Monetarisierung von Gütern und Dienstleistungen verwendet werden, die wahren Präferenzen der Bevölkerung (möglichst genau) abbilden.¹²

Als *Entscheidungskriterium* zur Beurteilung der Effizienz von Massnahmen dient das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NK-Verhältnis)¹³:

$$NK\text{-Verhältnis} = \frac{N}{K} = \frac{\sum_i^I n_i \cdot p_i}{\sum_j^J m_j \cdot q_j}$$

Dabei stehen n_i und m_j für $i = 1, \dots, I$ und $j = 1, \dots, J$ für Elemente des Mengengerüsts und p_i und q_j für $i = 1, \dots, I$ und $j = 1, \dots, J$ für Elemente des Wertegerüsts. Nutzen (N) und Kosten (K) ergeben sich aus der Bewertung der Elemente des Mengengerüsts mit den entsprechenden Elementen des Wertegerüsts, den sog. Kostensätzen. Die Kostensätze widerspiegeln dabei die Präferenzen der Bevölkerung (soziale Präferenzen). Falls Güter auf einem Markt gehandelt werden, sind Marktpreise vorhanden (und können entsprechend für die Bewertung verwendet werden). Für Nicht-Markt-Güter müssen die Präferenzen über entsprechende Methoden ermittelt werden. Eine Massnahme wird auf Grundlage der KN-Analyse als effizient erachtet, falls ein NK-Verhältnis von ≥ 1 resultiert, der Nutzen die Kosten mindestens deckt.

Ob und wie die Wirkungen einer Massnahme in die Bewertung mittels KN-Analyse einbezogen werden können, hängt davon ab, ob sie quantifiziert¹⁴ (Mengengerüst) und monetarisiert (Wertegerüst) werden können.

Je weniger Wirkungen quantifiziert und monetarisiert werden können, desto problematischer wird eine Beurteilung, die (ausschliesslich) auf das NK-Verhältnis abstellt. Sofern wichtige Aspekte des Nutzens oder der Kosten nicht monetarisiert und in die KN-Analyse integriert werden können, kann eine Beurteilung einer Massnahme nicht mehr ausschliesslich auf Basis des NK-Verhältnisses abgestellt werden. Die nicht berücksichtigten Wirkungen wären dann über zusätzliche Indikatoren in die Beurteilung einzubeziehen. Abbildung 4 zeigt die Entscheidungen

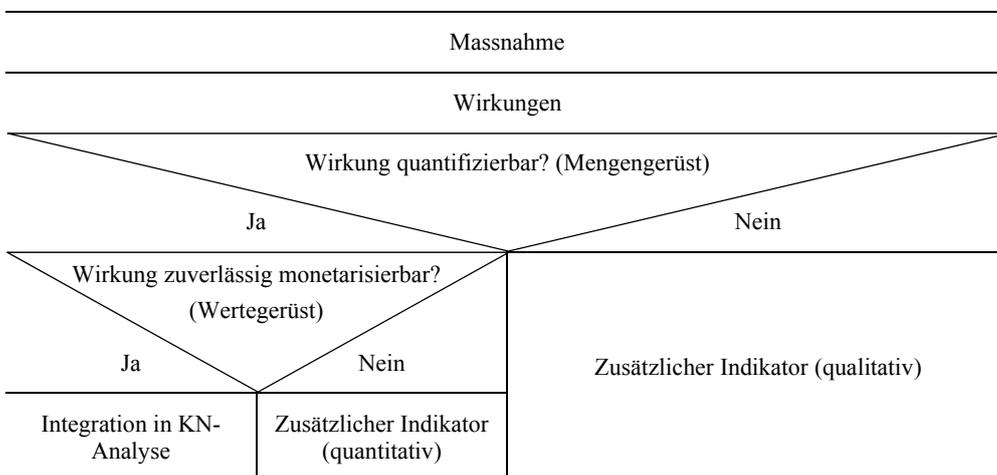
¹² Kägi et al. (2015, S. 202) fassen mögliche Ursachen für Verzerrungen für verschiedene Methoden zur Erfassung von bekundeten und offenbarten Präferenzen zusammen.

¹³ Falls Kosten und Nutzen über mehrere Jahre anfallen, könnte auch ein Vergleich des Nettogegenwartswertes (*net present value*, NPV) vorgenommen werden. Dies würde eine Diskontierung der jährlichen Kosten und Nutzen bedingen.

¹⁴ Hier geht es bspw. um die Lärmreduktion in dB(A), die Veränderung der betroffenen Personen etc.

auf, die dabei zu treffen sind. Eine Massnahme kann grundsätzlich verschiedene Wirkungen haben. In einem ersten Schritt ist zu fragen, ob eine Wirkung quantifizierbar ist oder nicht. Wird diese Frage mit „nein“ beantwortet, kann die Wirkung über einen Indikator höchstens qualitativ aufgenommen werden. Wird die Frage hingegen mit „ja“ beantwortet, dann stellt sich die Anschlussfrage, ob die quantifizierte Wirkung auch monetarisiert werden kann. Falls diese Frage mit „nein“ beantwortet wird, kann die Wirkung über einen Indikator quantitativ aufgenommen werden. Wird die Frage mit „ja“ beantwortet, kann die Wirkung monetarisiert und in die KN-Analyse integriert werden.

Abbildung 4: Entscheidungsdiagramm



Quelle: In Anlehnung an Handbuch eNISTRA 2010 (Grafik 1-5) und DCLG (2009).

Sofern sich nicht alle Wirkungen monetarisieren lassen und diese Wirkungen über quantitative oder qualitative Indikatoren abgebildet werden, stellt sich die Frage, wie diese verschiedenen Informationen in die Entscheidung einfließen sollen. Diese Frage kann an dieser Stelle nicht abschliessend geklärt werden. Als Hinweise können die Ausführungen von Ecoplan & Metron (2005) zur KN-Norm des VSS (insbesondere zu Ziffer 66) dienen.

Die Komplexität der Erfassung der Wirkungen einer Massnahme hängt davon ab, wie umfassend diese Wirkungen bei der Beurteilung der Massnahmen berücksichtigt werden sollen. Wird eine möglichst umfassende Berücksichtigung angestrebt, so wird eine Quantifizierung und Monetarisierung der Nutzen und Kosten umso

schwieriger, je vielfältiger die Wirkungen der betrachteten Massnahme sind.¹⁵ Die Komplexität kann reduziert werden, indem der Fokus bei der Beurteilung der Wirkung bspw. nur auf die geschützten Personen und damit auf die Reduktion von Belästigung und Gesundheitsfolgen fokussiert. Damit werden allerdings „Nebenefekte“ der Massnahme bewusst ausser Acht gelassen.

Nachfolgende wird davon ausgegangen, dass eine möglichst umfassende Berücksichtigung der Wirkung erfolgen soll. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob und wie die KN-Methode ergänzt und damit der Anwendungsbereich der Methode erweitert werden kann, um künftig bspw. auch nicht-bauliche Massnahmen damit beurteilen zu können.

Folgende Aspekte sind bei einer Anpassung der aktuellen KN-Methode zu berücksichtigen:

- *Funktionelle Zuordnung der Kosten aufgrund von Mehrfachnutzungen:* Sofern Massnahmen einen Mehrfachnutzen aufweisen (bspw. Geschwindigkeitsreduktion: Verminderung Lärmimmission, Verbesserung Verkehrssicherheit), schlägt SRU Nr. 301 (S. 32) eine funktionelle Zuordnung der Kosten vor, damit der LSM nur diejenigen Kosten angerechnet werden, die auch wirklich mit dem Lärmschutz verbunden sind. Eine solche Abgrenzung mag im Einzelfall möglich sein. Für Massnahme mit vielfältigen Wirkungen erscheint diese Abgrenzung allerdings nicht mehr praktikabel zu sein. Es erscheint daher zweckmässiger, alle mit der Mehrfachnutzung verbundenen Kosten und Nutzen in der KN-Analyse zu berücksichtigen. Dies würde bedeuten, dass insbesondere auf der Nutzenseite neben dem Nutzen aus der verminderten Lärmbelastung auch der Nutzen bspw. aus der verbesserten Verkehrssicherheit berücksichtigt würde.
- *Qualitative Berücksichtigung der volkswirtschaftlichen Kosten:* Die volkswirtschaftlichen Kosten sind gemäss SRU Nr. 301 qualitativ zu berücksichtigen. Gemäss den vorangegangenen Überlegungen (vgl. Abbildung 4) sind die Wirkungen, wenn immer möglich, zu quantifizieren und zu monetarisieren. Daher könnte geprüft werden, ob gewisse volkswirtschaftliche Kosten (mittlerweile) auch quantifiziert und monetarisiert werden könnten. Zudem können die in der

¹⁵ Dies betrifft einerseits die Breite an möglichen Wirkungen der Massnahme (bspw. Wirkung auf Mietpreise, Gesundheit etc.). Andererseits aber auch die „Tiefe“ einer Wirkung. Der WTI beachtet bspw. nur die durchschnittliche Lärmbelastung. Eine LSM führt zu einer Abnahme der mittleren Lärmbelastung, kann aber auch Lärmspitzen brechen, die von den Menschen als besonders störend empfunden werden. Diese Effekte wären bei einer umfassenden Bewertung ebenfalls zu berücksichtigen.

SRU Nr. 301 aufgeführten Aspekte je nach Massnahme als Kosten oder Nutzen aufgefasst werden. Während eine Lärmschutzwand u.U. die Verkehrssicherheit beeinträchtigen kann (als Kosten aufzufassen), könnte eine Geschwindigkeitsreduktion tendenziell zu einer Verbesserung der Verkehrssicherheit führen (als Nutzen aufzufassen).

In Tabelle 3 werden Kosten und Nutzen, so wie sie heute in der KN-Methode berücksichtigt werden, aufgeführt. Weiter weist die Tabelle auf mögliche Anpassungen hin, die es ermöglichen würden, das Spektrum an Massnahmen, die mit der KN-Methode beurteilt werden könnten, zu erweitern.

Tabelle 3: Berücksichtigung Kosten und Nutzen in der aktuellen KN-Methode

		Kosten		Nutzen
		Betriebswirtschaftliche Kosten	Volkswirtschaftliche Kosten	Volkswirtschaftlicher Nutzen
Kosten, Nutzen	bisher	Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten	<ul style="list-style-type: none"> • Beeinträchtigung von Orts- und Landschaftsbild • Ökologische Auswirkungen • Beeinträchtigung von Wohnqualität • Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit • Beeinträchtigung der Erlebnisqualität der Verkehrsteilnehmer/innen 	Mietpreise
	neu			Mietpreise Gesundheitsrisiken allenfalls weitere (bspw. Verbesserung Verkehrssicherheit)
Berücksichtigung in KN-Methode neu	bisher	quantitativ/monetarisiert Allenfalls funktionelle Zuordnung der Kosten aufgrund von Mehrfachnutzungen. ¹⁶	qualitativ	quantitativ/monetarisiert
	neu	quantitativ/monetarisiert Keine funktionelle Zuordnung der Kosten aufgrund von Mehrfachnutzungen.	quantifiziert/monetarisiert (sofern möglich), sonst qualitativ Möglichst umfassende Berücksichtigung von Kosten.	quantitativ/monetarisiert Möglichst umfassende Berücksichtigung von und Nutzen.

Anmerkungen: In Anlehnung an die Ausführungen in SRU Nr. 301 (Kap. 4 & 5).

3.1.2. Effektivität

In der aktuellen KN-Methode wird die Effektivität an der Veränderung der lärmbe- lasteten Gebäudeflächen gemessen. Dies erscheint sinnvoll, da bei der Berechnung des Nutzens auch die Gebäudefläche einbezogen wird.

Zu Fragen ist allerdings, ob die Gebäudefläche grundsätzlich geeignet ist, oder ob die Zielerreichung nicht vielmehr an der Anzahl der lärm betroffenen Personen festgemacht werden sollte. Dies umso mehr, als auch die Gesundheitskosten zur

¹⁶ Beispielsweise: Verkehrssicherheit, Aufenthaltsqualität, Wohnqualität, Gebäudewert.

Berechnung des Nutzens berücksichtigt werden könnten (vgl. Ausführungen in Kapitel 3.3.3) und die Gesundheitskosten u.a. an der Anzahl der lärmbelasteten Personen festgemacht werden.

Während bei der KN-Methode Wirkungen monetarisiert und miteinander verglichen und verrechnet werden können, ist dies bei der Effektivität nicht der Fall. Hier können Gebäudeflächen und Anzahl Personen nicht mehr einfach miteinander verglichen und verrechnet werden, da in unterschiedlichen Masseinheiten gemessen wird. Die Wirkungen sind nur quantifiziert, nicht monetarisiert. Es wäre denkbar, zwei Indikatoren zur Effektivität zu berechnen. Da keine Verrechnung möglich ist, müssten die Indikatoren zur Effektivität als zusätzliche Indikatoren zum NK-Verhältnis in die Beurteilung einbezogen werden (vgl. Ausführungen in Kapitel 3.1.3 zum WTI). Alternativ könnte die Berücksichtigung der Effektivität auch auf einem einzigen Indikator beruhen. Falls die Beurteilung der Effektivität auf Basis der Anzahl Personen vorgenommen werden soll, könnte das Vorgehen, wie es in der aktuellen KN-Methode für die Beurteilung der Effektivität auf der Grundlage der Gebäudeflächen Anwendung findet, auf die Betrachtung der Anzahl Personen übernommen werden.¹⁷

3.1.3. Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI)

Wie in Kapitel 2.1.2 und Kapitel 2.1.3 bereits dargestellt, wird bei der Beurteilung von LSM mittels WTI neben der Effizienz auch die Effektivität berücksichtigt. Das Kriterium der Effektivität wird neben dem Kriterium der Effizienz „gleichberechtigt“ in die Interessenabwägung einbezogen.

In Kapitel 2.1.3 wurde bereits auf die Motivation zum Einbezug der Effektivität in die Beurteilung von LSM eingegangen. Mit dem Kriterium der Effektivität können gemäss SRU Nr. 301 neben der ökonomischen Betrachtungsweise (Effizienz) auch die *gesellschaftspolitischen Zielvorstellungen* in die Beurteilung miteinbezogen werden. Insofern erschienen auch Massnahmen als sinnvoll, die zwar nicht effi-

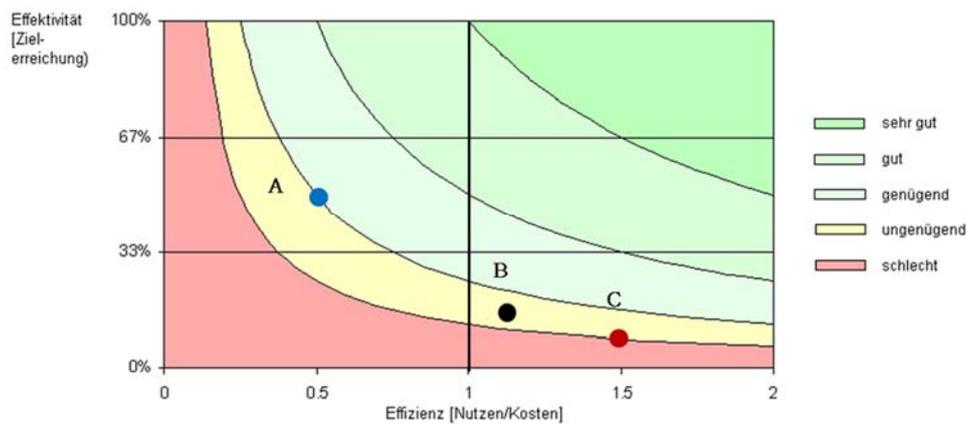
¹⁷ Eine Beurteilung der Effektivität auf Basis der Anzahl Personen anhand des Beispielprojekts aus dem Berechnungsmodul zur UV-0637 (Anhang 4) ergibt für die Effektivität einen Wert von 83 (bestehende Anlagen) bzw. 78 (neue Anlagen). Diese Werte weichen nur um -2 bzw. -1 von den Werten ab, die auf Basis der Gebäudeflächen berechnet werden. Für die Berechnung wird von 3 Personen pro Wohneinheit ausgegangen (pauschaler Ansatz gemäss Berechnungsmodul zur UV-0637, Anhang 4). Falls andere Nutzungen als Wohnen in die Beurteilung einfließen sollen, können für die Abschätzung der Anzahl Personen und Wohneinheiten die Hinweise im Berechnungsmodul zur UV-0637 (Anhang 4, S. 8) beachtet werden. Sollen unüberbaute Parzellen, die vor dem 1.1.1985 erschlossene wurden, ebenfalls in die Beurteilung einbezogen werden, kann ebenfalls auf das im Berechnungsmodul zur UV-0637 (Anhang 4, S. 8) beschriebene Vorgehen Bezug genommen werden.

zient sind, aber eine hohe Effektivität aufweisen. Für die folgende Diskussion erscheint es hilfreich, die zwei Fälle NK-Verhältnis < 1 und NK-Verhältnis ≥ 1 zu unterscheiden.

NK-Verhältnis < 1

Die Bewertung von LSM mittels WTI kann auf der einen Seite zu Situationen führen, in welchen Massnahmen, die ein NK-Verhältnis von < 1 und aus ökonomischer Perspektive als nicht effizient beurteilt werden müssten, trotzdem realisiert werden, da die Massnahmen eine hohe Effektivität aufweisen. Bei einer Effektivität von 50% müsste das NK-Verhältnis mindestens 0.5 betragen, um einen WTI ≥ 1 zu erreichen (vgl. Punkt A in Abbildung 5). Ein NK-Verhältnis von 0.5 impliziert, dass die Kosten doppelt so hoch sein dürfen wie der Nutzen.

Abbildung 5: Effektivitäts-Effizienz-Diagramm



Quelle: Umwelt-Vollzug Nr. 0906, BAFU 2006. Eigene Ergänzung der Punkte A, B und C zur Veranschaulichung von Überlegungen zur Beurteilung von Projekten mittels WTI, die unterschiedliche NK-Verhältnisse aufweisen. Punkt A: Projekt mit NK-Verhältnis = 0.5, Effektivität = 50%, WTI = 1.0; Punkt B: Projekt mit NK-Verhältnis = 1,2, Effektivität = 15%, WTI = 0.7; Punkt C: Projekt mit NK-Verhältnis = 1.5, Effektivität = 9%, WTI = 0.5.

NK-Verhältnis ≥ 1

Auf der anderen Seite sind auch Massnahmen zu erwähnen, die gemessen am NK-Verhältnis als effizient erscheinen (NK-Verhältnis ≥ 1), durch den Einbezug der (tiefen) Effektivität allerdings einen WTI < 1 erhalten und insgesamt als ungenügend oder schlecht beurteilt werden. In der Praxis sind u.a. LSM davon betroffen, die Objekte nur bis zu einer gewissen Höhe (bspw. bis zum 2. OG) vor Lärmbelas-

tung schützen (vgl. Beispiel im Anhang 4a zur UV-0637). Die Anwendung des WTI kann dazu führen, dass die Verhältnismässigkeit ein und derselben Massnahme bei zwei Objekten, die sich nur in der Anzahl der Obergeschosse unterscheiden, zu unterschiedlichen Ergebnissen führt, obwohl beide Objekte im selben Ausmass geschützt werden. Da beim höheren Gebäude die oberen Geschosse nicht geschützt werden, fällt die Beurteilung der Effektivität schlechter aus als beim tieferen Gebäude. Als Korrektiv ist gemäss Anhang 4a zur UV-0637 (S. 5) vorgesehen, dass bei Werten des WTI, die sich in einem kritischen Bereich befinden, eine differenzierte Betrachtung vorgenommen wird. In der Praxis werden bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit teilweise nur die Nutzungen in denjenigen Etagen berücksichtigt, die mit einer Lärmschutzwand auch geschützt werden können.

Für NK-Verhältnisse ≥ 1 stellt sich grundsätzlich die Frage, warum das Kriterium der Effektivität zur Anwendung kommen sollte. Falls die Effektivität tief und damit auch der WTI < 1 ausfällt, würde auf eine effiziente Massnahme, die zumindest einen Teil der lärmbelasteten Gebäude bzw. Menschen vor Lärm schützen würde, verzichtet. Die Berücksichtigung der Effektivität als zusätzliches Kriterium könnte dann in Betracht gezogen werden, wenn verschiedene alternative Massnahmen gleichzeitig zu beurteilen sind. Solange das NK-Verhältnis ≥ 1 , würde diejenige Massnahme mit grösster Effektivität den Vorzug erhalten. Bspw. wäre dann die Massnahme B der Massnahme C vorzuziehen (vgl. Abbildung 5). Hier würde die Massnahme B, die weniger effizient ist als die Massnahme C (= kein optimaler Einsatz der Ressourcen) gewählt; die Zielerreichung (gemessen am Schutz der Bevölkerung) wäre aber bei Massnahme B besser als bei Massnahme C.

Insgesamt erscheint die Berücksichtigung der Effektivität als eigenständiger Indikator neben dem NK-Verhältnis in der Beurteilung einer Massnahme sinnvoller als eine „Verrechnung“, der beiden Indikatoren zu einem Gesamtwert. Die Überlegungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.¹⁸

¹⁸ Bei den vorangegangenen Ausführungen wird primär eine ökonomische Betrachtung vorgenommen. Aus juristischer Sicht ist neben der Effizienz auch die Effektivität zu betrachten. Eine Beurteilung nur auf Grundlage der Effizienz erscheint nicht möglich. Aus praktischer Sicht gilt es zudem zu beachten, dass die hier geäusserten Überlegungen und Vorschläge zu einer Erhöhung der Komplexität in der Beurteilung führen würden.

Tabelle 4: Berücksichtigung Kriterium der Effektivität

	NKV < 1	NKV ≥ 1	
		eine Massnahme	mehrere Massnahmen
	Ja	Nein	Ja
Berücksichtigung Effektivität	Eigenständiger Indikator (oder WTI: impliziert eine bestimmte Gewichtung)	nicht berücksichtigen	Eigenständiger Indikator: Bspw. Wahl der Massnahme mit höchster Effektivität

Anmerkung: NKV = Nutzen-Kosten-Verhältnis

3.2. Prüfpunkte Kosten

In der KN-Methode sind verschiedene Werte für die betriebswirtschaftlichen Kosten hinterlegt. Folgende Werte wurden geprüft und, sofern notwendig, aktualisiert:

- Kosten Lärmschutzwände
- Belagskosten
- Kapitalzins
- Kosten für Betrieb und Unterhalt
- Lebensdauer der Massnahmen

3.2.1. Kosten Lärmschutzwände

Die Kosten für Lärmschutzwände sind im Anhang 4b zum Leitfaden Strassenlärm vorgegeben. Zusätzlich sind die Kosten für Lärmschutzdämme und Überdeckungen aufgeführt. Neben den Investitionskosten werden Angaben zur Lebensdauer, den Kosten für Betrieb und Unterhalt sowie zum Kapitalzins gemacht.

Bei den Lärmschutzwänden wird unterschieden zwischen Wänden mit Streifenfundamenten und Wänden mit Pfahlfundamenten.

Für die Aktualisierung der Werte für Lärmschutzwände wurden bei drei Kantonen (decken den Bereich Stadt/Agglomeration/Land ab), einer Stadt und Bundesstellen (ASTRA, BAV) Umfragen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden so detailliert wie möglich erhoben und nach folgenden Kriterien ausgewertet:

- Fläche der Wand
- Typ Fundament
- Typ Wand
- Städtisch / ländlich

Nicht eingerechnet in den Kosten der Lärmschutzwände sind die Kosten für die Bodenfläche, da diese meist entweder dem Ersteller der Wand gehört oder durch eine Dienstbarkeit gesichert wird.

Die Kosten zwischen den einzelnen Wänden variieren stark: Der Bereich erstreckt sich von 800 bis 6'500 Fr./m². Vergleicht man die Kosten für die Lärmschutzwände nach den obenstehenden Kriterien, ergeben sich die folgenden Relationen:

Fläche der Wand

Die Fläche der Lärmschutzwand hat einen markanten Einfluss auf die Kosten. Bei kurzen Wänden unter ca. 250 m² fallen in der Regel deutlich höhere Kosten an. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass die Planungskosten bei Wänden mit kleiner Fläche nicht wesentlich tiefer sind als bei Wänden mit grösserer Fläche und andererseits damit, dass die Grundkosten, wie Baustelleneinrichtungen etc., bei geringen Wandflächen anteilmässig deutlich höher liegen.

Typ Fundament

Die meisten Lärmschutzwände werden heute mit Pfahlfundamenten gebaut. Nur insgesamt vier der berücksichtigten Lärmschutzwände weisen ein Streifenfundament auf.

Bei den Kosten von Lärmschutzwänden mit Pfahl- oder Streifenfundament ist kein signifikanter Unterschied zu erkennen.

Typ Lärmschutzwand

Die Lärmschutzwände sind mit verschiedenen Materialien gebaut. Die wesentlichen Gruppen sind:

- Massive Wände, insbesondere aus Beton
- Lärmschutzwände aus Holz
- Transparente Wände (Glas)
- Wände aus Steinkörben (Gabionen)

Es ergeben sich klare Unterschiede bei den Kosten:

- Holzwände und massive Wände liegen preislich auf ähnlichem Niveau
- Die Kosten für transparente Wände liegen höher (bei den Bahnen ist dies nicht direkt ersichtlich, da der transparente Anteil klein ist und die Kosten nur für die gesamte Wand vorliegen)
- Die Kosten für Wände aus Steinkörben liegen tiefer (kein Fundament)

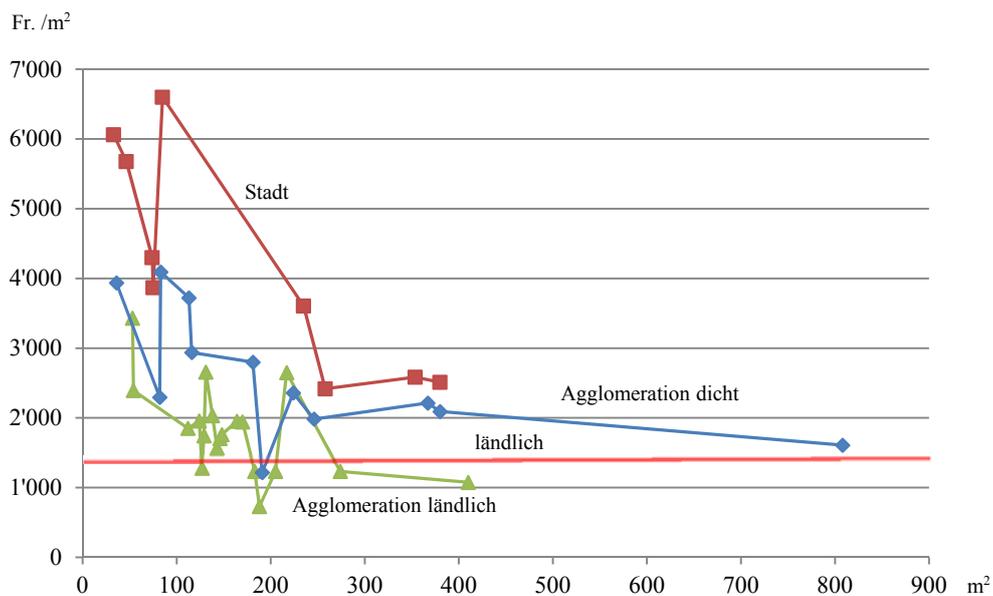
Die Unterschiede in den Kosten lassen sich nur grob schätzen, da auch die Unterschiede innerhalb der Wandkategorien noch hoch sind.

Städtisch / ländlich

Es ergeben sich recht hohe Unterschiede zwischen Wänden in Städten, der dicht bebauten und der ländlichen Agglomeration und ländlichen Gebieten. Als Ursachen sind zu vermuten:

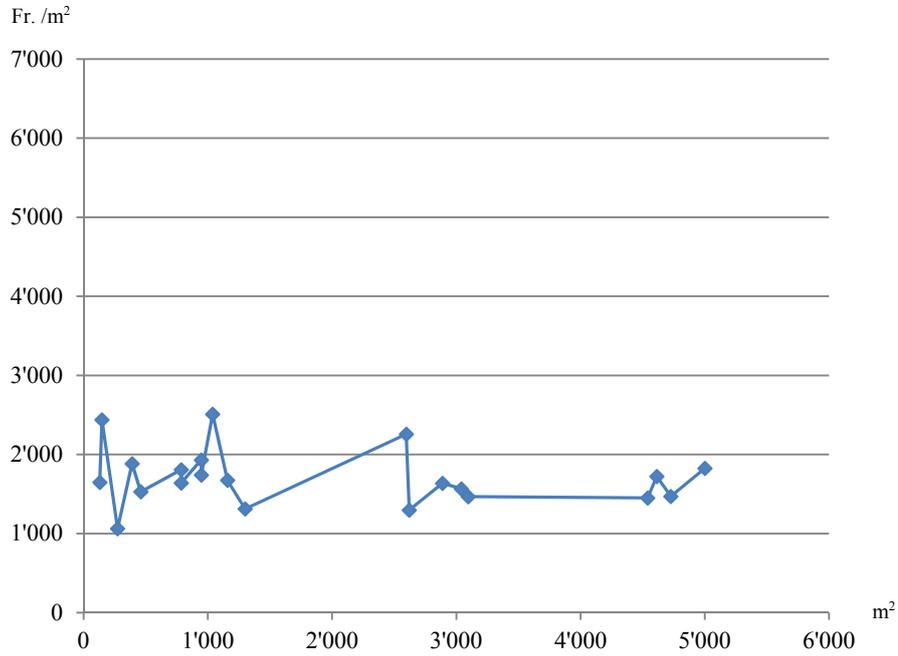
- Bei Wänden in städtischen Gebieten gibt es neben freistehenden Wänden auch Wände zwischen Fassaden. Diese erfordern sowohl bezüglich Architektur sowie der Ausführung (Anschlüsse) erhöhte Aufwendungen, was die höheren Kosten erklärt.
- Lärmschutzwände im dichtbebauten Agglomerationsbereich erfordern erhöhte Anpassungsarbeiten (Werkleitungen, Hydranten, Beleuchtungsmasten etc.). Zudem sind auch die Aufwendungen für die Planung und die Anforderungen an die Gestaltung erhöht.

Abbildung 6: Kostenübersicht Strassen (nach Gebiet gegliedert)



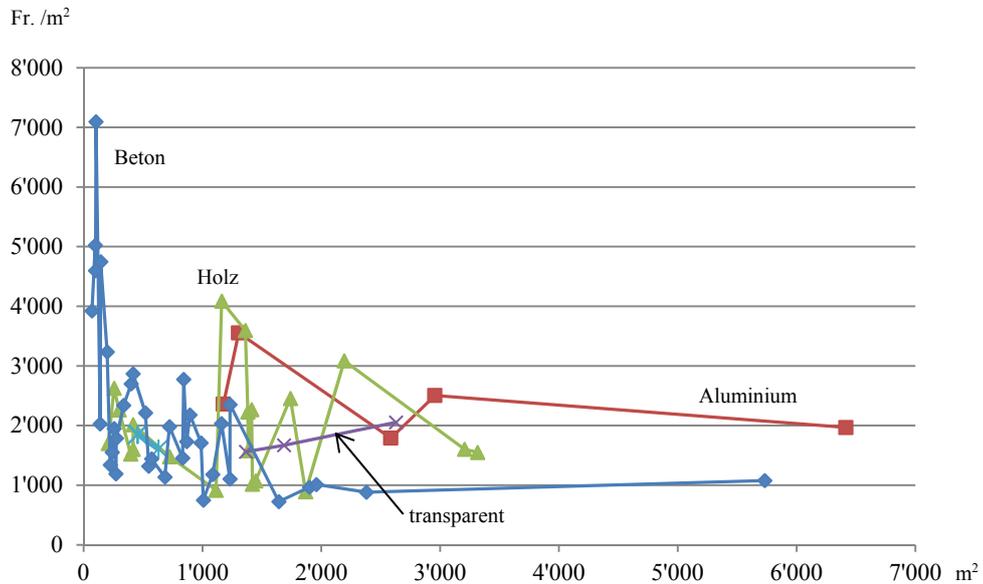
Quelle: Angaben von drei Kantonen (decken den Bereich Stadt/Agglomeration/Land ab) und einer Stadt.

Abbildung 7: Kostenübersicht Nationalstrassen



Quelle: ASTRA.

Abbildung 8: Kostenübersicht Bahn (nach Material gegliedert)



Quelle: BAV.

Wie aus den Abbildungen ersichtlich, streuen die Werte stark. Für einen Durchschnittswert sollten die Wände mit sehr kleinen Flächen ausgeschlossen werden. Damit fließen auch die hohen Kosten der kurzen, baulich wie gestalterisch aufwendigen, Lärmschutzwände in Städten nicht in den Durchschnittswert ein. Es ergeben sich folgende Durchschnittswerte:

Tabelle 5: Kosten pro m² für Lärmschutzwände >100 m²

Daten	[Fr./m ²]
Kantone/Stadt	2'020.-
Nationalstrassen	1'335.-
Bahnen	1'979.-

Quelle: Angaben von drei Kantonen (decken den Bereich Stadt/Agglomeration/Land ab), einer Stadt, ASTRA, BAV.

Bei Lärmschutzwänden in den Kantonen resp. Städten und bei den Bahnen liegen die Kosten bei rund 2'000.- Fr. pro m². Bei Lärmschutzwänden an Autobahnen sind sie deutlich tiefer. Ein Grund dafür könnte darin bestehen, dass Lärmschutzwände an Autobahnen deutlich geringere Neben- und Anpassungskosten verursachen und zudem oft im Rahmen umfassender Sanierungen realisiert werden, so, dass die Kosten für Baustelleneinrichtung, Bauleitung etc. deutlich geringer sind.

Zahlen, die teils auch im Rahmen früherer Untersuchungen erhoben wurden, weisen darauf hin, dass in ländlichen Kantonen die Kosten deutlich tiefer liegen und sich im Rahmen von 1'000.- bis 1'500 Fr. pro m² bewegen. Allerdings liegen diese Daten nicht in detaillierter Form vor, so, dass nicht überprüft werden kann, ob sie effektiv alle Kostenpositionen enthalten.

Lebensdauer

Bei einer Lärmschutzwand kann für die einzelnen Teile von einer unterschiedlichen Lebensdauer ausgegangen werden: Die Längste für die Fundamente, eine mittlere für die Stützen und die kürzeste für die Wandelemente.

Bei heute erstellten Lärmschutzwänden wird vielfach eine Lebensdauer von 40 Jahren vorgegeben. Dass allenfalls Stützen und Fundamente nach Ablauf dieser Dauer weiterverwendet werden können, ist kostenmässig wenig relevant.

3.2.2. Belagskosten

Der Anhang 4b zum Leitfaden Strassenlärm enthält Richtwerte für Belagskosten. Für die Beläge sind die Lebensdauer, die Betriebs- und Unterhaltskosten sowie der zu benutzende Kaptalzins aufgeführt.

Die aufgeführten Beläge sind Deckbeläge. Für die Kosten eines lärmarmen Belags ist aber eine Gesamtbetrachtung durchzuführen. Diese umfasst nicht nur die Belagskosten selbst. In diese Betrachtung fließen auch die übrigen Kosten, die mit einem Belagswechsel verbunden sind (Anpassungsarbeiten, Bauleitung, etc.) ein. Nicht in die Kosten für den Belag wird die Entsorgung der PAK-haltigen alten Beläge eingerechnet. Diese fallen ohnehin und unabhängig von der Wahl des neuen Belags an. Wichtigster Faktor dieser Gesamtbetrachtung ist aber die Lebensdauer. Diese ist bei lärmarmen Belägen deutlich tiefer.

Über die Belagskosten (inkl. Anpassungsarbeiten etc.) liegen aus vier Kantonen Angaben zu den Kosten vor. Für die einzelnen Beläge resp. die Binderschicht ergeben sich daraus belastbare Werte.

- Die wesentlichen Unterschiede ergeben sich durch die unterschiedliche Lebensdauer der Beläge. Hier liegen noch deutlich weniger Erfahrungen vor. Es wird jedoch durchwegs davon ausgegangen, dass lärmarme Beläge, insbesondere SDA4, eine deutlich geringere Lebensdauer aufweisen. Die heutigen Prognosen bewegen sich in einem Bereich von 10 bis maximal 15 Jahren. Da nach dem Einbau eines 2. Deckbelags auch die Binderschicht neu erstellt werden muss, fallen auch hier Zusatzkosten an. Aufgrund der heutigen Erkenntnisse wird von folgenden Eckwerten für die Lebensdauer ausgegangen: Für konventionelle Beläge wird mit einer Lebensdauer für den gesamten Belagsaufbau von 50 Jahren gerechnet, wobei der Deckbelag in dieser Zeit einmal zu erneuern ist.
- Für lärmarme Beläge des Typ SDA8 wird mit einer Lebensdauer für die gesamten 40 Jahre gerechnet, wobei der Deckbelag in dieser Zeit einmal zu erneuern ist.
- Für lärmarme Beläge des Typ SDA4 wird mit einer Lebensdauer für die gesamten 20 Jahre gerechnet, wobei der Deckbelag in dieser Zeit einmal zu erneuern ist.

Damit ergeben sich über die Lebensdauer von 40 Jahren resp. für ein Jahr die folgenden Kosten:

Tabelle: Kosten lärmarme Beläge

	MR8* [Fr./m ²]	SDA8 [Fr./m ²]	SDA4 [Fr./m ²]
Binderschicht	30	38	38
1. Belag	30	37	37
2. Belag	28	35	35
Binderschicht			38
1. Belag			37
2. Belag			35
Total 40 Jahre	88	110	220
Total pro Jahr	2.2	2.8	5.5
Differenz zu MR8		0.6	3.3

Quelle: Angaben von vier Kantonen. Anmerkung: * Lebensdauer 50 Jahre, Kosten entsprechend reduziert.

3.2.3. Kapitalzins

Die Projektkosten (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten) werden als *Jahreskosten* ermittelt.¹⁹ Dabei müssen die einmalig anfallenden Investitionskosten in Jahreskosten umgerechnet werden. Diese Umrechnung erfolgt über die sog. *Annuitätenmethode* (vgl. Kapitel 2.1.1). Der Kapitalzins bildet für diese Umrechnung einen zentralen Inputfaktor.

In der Literatur werden unterschiedliche Zinssätze verwendet:

- Zinssatz für erste Hypothek von Wohnbauten (vgl. SRU Nr. 301)
- 3 Monate Libor Fr. (vgl. KGV Präventionsstiftung 2014)
- Durchschnittsrendite für Obligationen der Schweizerischen Eidgenossenschaft (vgl. Bründl, M. (Ed) 2009)²⁰

Da die öffentliche Hand investiert, orientiert sich der Kapitalzinssatz sinnvollerweise an Obligationenrenditen der Schweizerischen Eidgenossenschaft („risikoloser Zinssatz“). Es bietet sich an, die Laufzeit der Obligationen ähnlich zu wählen wie die Laufzeit der Massnahmen. Um kurzfristige Schwankungen auszugleichen und zu berücksichtigen, dass zwischen der Projektierung bis zur Realisierung meh-

¹⁹ Die Vorgehensweise ist in SRU Nr. 301, Abschnitt 8.3.2, B.1, detailliert beschrieben.

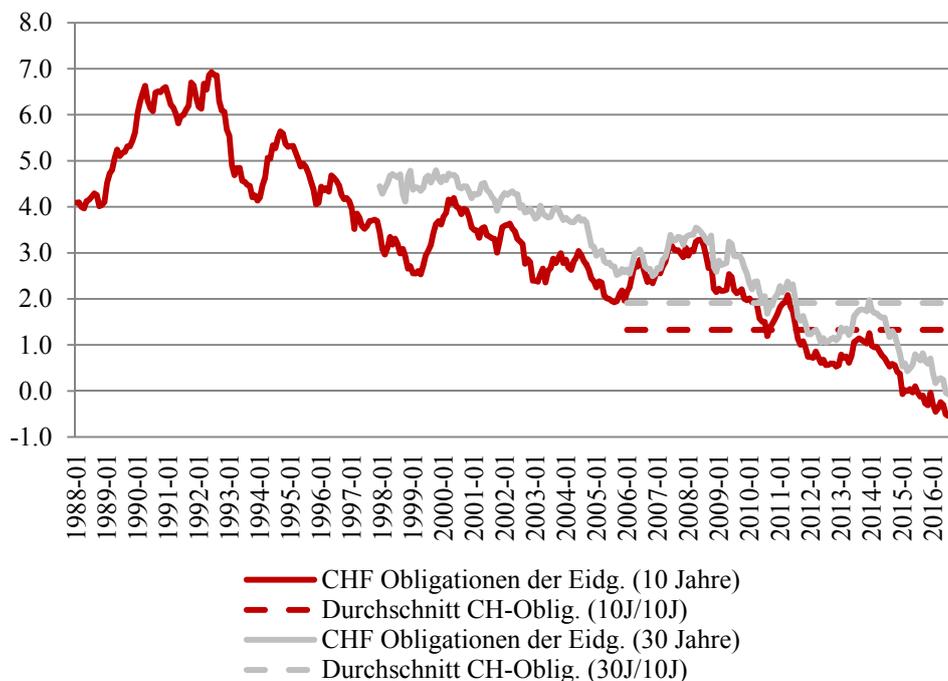
²⁰ Gemäss SNB kann der 10-Jahres-Kassazinssatz als Approximation für die Durchschnittsrendite für Obligationen der Schweizerischen Eidgenossenschaft verwendet werden. Quelle: <https://data.snb.ch/de/topics/ziredev#!/cube/rendoblim>, Fussnote 2 (Stand: 13.12.2016).

rere Jahre vergehen können, ist sinnvollerweise ein Durchschnittswert (bspw. über die letzten 10 Jahre) zu bilden.

In Abbildung 6 sind die historischen Renditen von CHF Bundesobligationen für Laufzeiten von 10 und 30 Jahren abgebildet. Auf dieser Grundlage lassen sich durchschnittliche Renditen über bspw. 10 Jahre berechnen:

- CHF Obligationen der Eidg. (10 Jahre), Durchschnitt über die letzten 10 Jahre (Januar 2006-November 2016): 1.3%
- CHF Obligationen der Eidg. (30 Jahre), Durchschnitt über die letzten 10 Jahre (Januar 2006-November 2016): 1.9%

Abbildung 9: Rendite von Bundesobligationen (10 & 30 Jahre), 1988-2016



Quelle: Schweizerische Nationalbank (SNB)

3.2.4. Kosten für Betrieb und Unterhalt

Die heutigen Lärmschutzwände sind in der Regel auf eine Lebensdauer von 40 Jahren ausgelegt. Während dieser Zeit sollte grundsätzlich kein Unterhalt anfallen. Bei den Kantonen liegen auch keine Zahlen für Aufwendungen für den Unterhalt vor. Es kann damit davon ausgegangen werden, dass dieser vernachlässigt werden kann.

Kosten fallen hingegen für die Fläche zwischen Strassenrand und Lärmschutzwand an. In der Regel ist dieser bepflanzt, teilweise aber auch nur zur Minimierung des Unterhalts mit Schotter versehen. Diese Unterhaltskosten werden allerdings in den wenigsten Fällen separat erfasst.

Konkrete Angaben liegen nur aus einem Kanton vor. Dabei wird unterschieden zwischen einer einfachen Bepflanzung mit Magerwiese und einer üppigeren Bepflanzung mit Büschen etc. Eine Magerwiese benötigt eine Schnitt pro Jahr, eine Bepflanzung mit Büschen 2 Schnitte. Daraus ergeben sich die folgenden Kosten:

Tabelle 6: Unterhaltskosten Lärmschutzwand

Kosten pro Jahr	[Fr./m ²]
Magerwiese	27
Büsche	66

Quelle: Angaben Kanton.

Bei einem Grünstreifen von 1.0 m Breite und einer Wand von 2.0 m Höhe (mit 2'000.- Fr/m² eingesetzt) ergeben sich damit die folgenden Unterhaltskosten prozentual zur Lärmschutzwand:

Tabelle 7: Anteil Unterhaltskosten Lärmschutzwand an Investitionskosten

Kosten pro Jahr	[%]
Magerwiese	0.7
Büsche	1.7

Quelle: Angaben Kanton.

Für Beläge werden unterschiedliche prozentuale Anteile der Kosten für Betrieb und Unterhalt an den Investitionskosten berücksichtigt. Für den Referenzbelag wird mit Kosten für Betrieb und Unterhalt von 1% der Investitionskosten gerechnet. Für die alternativen Beläge liegen die hinterlegten prozentualen Anteile für Betrieb und Unterhalt über 1%. Aufgrund der uns vorliegenden Informationen gibt es keine Hinweise, dass lärmarme Beläge im Unterhalt höhere Kosten verursachen als der Referenzbelag.

3.3. Prüfpunkte Nutzen

In diesem Kapitel wenden wir uns Aspekten der Nutzenberechnung zu. Konkret werden folgende Aspekte untersucht:

- Durchschnittlicher jährlicher Mietpreis
- Mietpreisreduktion durch Lärmimmission
- Lärmbedingte Gesundheitskosten
- Untergrenze für Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten

3.3.1. Durchschnittlicher jährlicher Mietpreis

Die Aktualisierung des durchschnittlichen Mietpreises wird unter Berücksichtigung folgender zusätzlicher Prüfpunkte vorgenommen:

- 1) Berücksichtigung der Eigentumsverhältnisse
- 2) Berücksichtigung regionaler Unterschiede in den Mietpreisen
- 3) Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzungen (Wohnen, Gewerbe, Dienstleistungen)

Aktualisierung des durchschnittlichen jährlichen Mietpreises

Die Aktualisierung des durchschnittlichen jährlichen Mietpreises pro m² BGF erfolgt in mehreren Schritten. Diese Schritte werden nachfolgend skizziert und sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

In einem *ersten* Schritt wird der durchschnittliche jährliche Mietpreis pro Quadratmeter (m²) *Wohnfläche* für das Basisjahr bestimmt. Der durchschnittliche jährliche Mietpreis pro m² Wohnfläche kann auf der Grundlage der Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) des Bundesamts für Statistik (BFS) ermittelt werden. Für das Jahr 2014 ergibt sich ein Wert von Fr. 194.40 pro m² Wohnfläche und Jahr. Das Basisjahr ist das Jahr der aktuellsten Strukturerhebung.

In einem *zweiten* Schritt wird der durchschnittliche jährliche Mietpreis des Basisjahres auf das aktuelle Jahr aufdatiert. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme des Mietpreisindex des BFS. Die Berechnung ist in Tabelle 8 beispielhaft aufgezeigt.

Tabelle 8: Aufdatierung Mietpreis

Jahr	Mietpreisindex (BFS)	Wachstumsfaktor	Ø Mietpreis pro m ²
2014	99.4		194.40
2015	100.2	1.0080	196.00
2016	100.4	1.0020	196.40

Der so ermittelte durchschnittliche Mietpreis pro m² bezieht sich auf die Wohnfläche. Dieser Wert muss im *dritten* und letzten Schritt für die Verwendung in der KN-Methode auf die BGF umgerechnet werden. Gemäss SRU Nr. 301 (S. 54f.) kann für diese Umrechnung die Beziehung $Wohnfläche = 0.79 \times BGF$ genutzt werden.²¹

Tabelle 9: Aktualisierungsschritte Mietpreis

Schritt	Wert	Quelle/Berechnung	Resultat [Fr./m ²]
1	Durchschnittlicher Mietpreis pro m ² Wohnfläche (Basisjahr)	Aktuelle Strukturhebung (BFS)	194.40
2	Durchschnittlicher Mietpreis pro m ² Wohnfläche (aktuelles Jahr)	Aufdatierung des durchschnittlichen Mietpreises pro m ² Wohnfläche auf das aktuelle Jahr (hier: 2016) über den Mietpreisindex des BFS.	196.40
3	Durchschnittlicher Mietpreis pro m ² BGF (aktuelles Jahr)	$WF = 0.79 \times BGF$	155.2

Berücksichtigung der Eigentumsverhältnisse

Aktuell wird für die Berechnungen unabhängig von den Eigentumsverhältnissen der Wohnungen ein einheitlicher Mietpreis pro m² BGF verwendet. Dieser basiert auf Daten zu *Mietwohnungen*. Die Berechnungen werden aber sowohl für Miet- wie auch für Eigentumsobjekte durchgeführt. Gemäss Strukturhebung des BFS betrug die Wohneigentumsquote in der Schweiz im Jahr 2014 37.4%.

Daten zu Wohnflächen für Eigentumswohnungen sind vorhanden (BFS, Strukturhebung). Allerdings fehlen schweizweite Daten zu fiktiven Mietpreisen²² von

²¹ Das bedeutet, dass 79% der BGF Wohnfläche sind.

²² Als fiktive Mietpreise für Eigentumswohnungen würden sich grundsätzlich Eigenmietwerte eignen. Wie Ecoplan & Infras (2014) darlegen und eigene Recherchen für die Kantone Zürich und Basel

Eigentumswohnungen. Eine direkte Schätzung eines (fiktiven) Mietpreises pro m² Wohnfläche bzw. BGF für Eigentumswohnungen ist somit nicht möglich.

Da in der KN-Methode zur Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen Mietpreise pro Quadratmeter verwendet werden, kann der unterschiedlichen Grösse der Wohnungen Rechnung getragen werden. Daten aus der Strukturhebung des BFS für das Jahr 2014 zeigen, dass Eigentumswohnungen im Durchschnitt 133 Quadratmeter Wohnfläche aufweisen, Mietwohnungen dagegen nur 84 Quadratmeter. Mit dem einheitlichen Mietpreis pro Quadratmeter werden allerdings mögliche Unterschiede im Preis pro Quadratmeter zwischen Eigentums- und Mietwohnungen (die bspw. aufgrund von Qualitätsunterschieden bestehen) nicht berücksichtigt.

Regionale Differenzierung

Eine Differenzierung der Mietpreise für Wohnungen nach Kanton wäre grundsätzlich möglich.²³

Für eine regionale Differenzierung spricht die rein ökonomische Betrachtung: Dem Vermieter einer Mietwohnung entgehen durch die Lärmbelastung in einem Gebiet mit höheren Mietpreisen mehr Mieteinnahmen als in einem Gebiet mit tieferen Mietpreisen. Die Mindereinnahmen reflektieren die geringere Zahlungsbereitschaft (geringeren Nutzen) der Mieterschaft.

Gegen eine regionale Differenzierung spricht das Argument der Gleichbehandlung: Aufgrund des Arguments der Gleichbehandlung wird im Benutzerhandbuch Anhang 3 in Abweichung von SRU Nr. 301 empfohlen, auf eine regionale Differenzierung zu verzichten, da ansonsten Gebiete mit hohen Mietpreisen höhere Lärmkosten zugerechnet erhalten als Gebiete mit tieferen Mietpreisen.²⁴

Differenzierung nach Nutzung (Wohnen, Gewerbe, Dienstleistungen)

Die Ermittlung von gesamtschweizerischen Mietpreisen für andere als Wohnnutzungen ist einiges aufwändiger, da keine Statistik beim BFS hierzu existiert und daher auf Informationen von privaten Anbietern zurückgegriffen werden müsste. Eine abschliessende Beurteilung kann zudem nur unter Berücksichtigung der Er-

Stadt zeigen, existiert keine schweizweite Statistik zu Eigenmietwerten. Die Berechnungsmethoden sind von Kanton zu Kanton zudem unterschiedlich. Weiter werden Eigenmietwerte zwecks Wohneigentumsförderung unter dem effektiv ermittelten fiktiven Mietpreis angesetzt.

²³ In der SRU Nr. 301 werden Mietpreise nach Regionen differenziert. Bei der Berechnung der externen Kosten des Verkehrs bspw. werden kantonale Unterschiede in den Mietpreisen berücksichtigt.

²⁴ Je nach Empfindlichkeitsstufe und Anteil der lärmempfindlichen Nutzungen (vgl. SRU Nr. 301, S. 54) fällt die Lärmbelastung bei diesen Nutzungen bereits heute nicht so stark ins Gewicht.

gebnisse aus Kapitel 3.3.2 zu den Mietpreisabschlägen aufgrund von Lärmbelastung gemacht werden. Wie die Resultate aus Kapitel 3.3.2 zeigen, erübrigt sich eine Differenzierung nach Nutzung, da es keine empirischen Hinweise auf „negative“ Mietpreiseffekte aufgrund von Lärmbelastung für Gebäude mit Gewerbe- und Dienstleistungsnutzungen gibt.

Die präsentierte empirische Evidenz liefert ein Argument dafür, zumindest Objekte mit ausschliesslicher Gewerbe-/Dienstleistungsnutzung aus der Beurteilung auszuschliessen, da diese Objekte heute teilweise als „natürliche“ Lärmschutzwände gebaut werden, um die dahinter liegenden Gebäude mit Wohnnutzungen vor Lärm zu schützen.²⁵

3.3.2. (Miet-)Preiseffekte durch Lärmimmission

Übersicht (Miet-)Preisfaktoren aus der aktuellen Literatur

Für die Erarbeitung einer Übersicht zu (Miet-)Preisfaktoren haben wir die aktuelle Literatur ausgewertet. Dabei haben wir uns auf Studien konzentriert, die (a) Resultate auf der Basis von für die Schweiz repräsentativen Daten ausweisen²⁶ und (b) möglichst aktuell sind. Dabei handelt es sich um zwei Studien der Züricher Kantonalbank ZKB (2011, 2012) und zwei Studien von Fahrländer Partner (F&P) (2013, 2014). Diese Studien weisen überdies Schätzungen teilweise differenziert nach verschiedenen Kriterien (Nutzungsart, Lärmquellen, Regionen) aus. Die Resultate sind in Tabelle 10 abgebildet.

Tabelle 10: Preisfaktoren aus der Literatur

Studie	Nutzung	Lärmquellen ²⁷	Reduktion pro dB(A) (in %)		Schwellenwert in dB(A)	
			Tag	Nacht	Tag	Nacht
ZKB (2011)	Mietwohnungen (Angebotsmieten)	Strasse	0.19		50	40
		Bahn	0.26		50	40

²⁵ Bei Mischnutzungen wäre der Aufwand in der Praxis zur Ausscheidung von Gewerbe-/Dienstleistungsflächen möglicherweise zu aufwändig.

²⁶ Fahrländer Partner (2013) stellen verschiedene Studien für Schweizer Städte und Regionen zusammen. Unterschiede in den Resultaten können durch die räumliche Verteilung der Stichproben bedingt sein.

²⁷ Die Effekte der Lärmbelastung auf die (Miet-)Preise für die verschiedenen Lärmquellen wurden im selben Modell geschätzt. Falls ein Standort von verschiedenen Lärmquellen belastet ist, können diese Lärmquellen bei der Schätzung jeweils berücksichtigt werden (vgl. bspw. ZKB 2011, S. 34).

		Luft	0.11 ¹	50	
	Stockwerkeigentum	Luft	1.20% ²	50	
F&P (2014)	Mietwohnungen (Bestandsmieten)	Strasse	0.09		45-55
		Bahn	0.09		47-55
		Luft	0.17		50-57
ZKB (2012)	Stockwerkeigentum (Marktwerte)	Strasse	0.59	50	40
		Bahn	0.47	50	40
		Luft	-		
	Mietwohnungen (Angebotsmieten)	Strasse	0.21	50	40
		Bahn	0.24	50	40
F&P (2014)	Wohnimmobilien ³ (Marktwert)	Strasse	0.44	45	45
		Bahn	0.28	47	47
		Luft	0.40	50	50
F&P (2014)	Alle Immobilien ³ (Marktwert)	Strasse	0.23	45	45
		Bahn	0.23	47	47
		Luft	0.38	50	50

Anmerkungen: ¹ Gemäss ZKB (2011) ist dieser Wert mit grosser Vorsicht zu interpretieren. ² Wert zitiert in ZKB (2011), gemäss ZKB Modell „MIFLU“. ³ Renditeliegenschaften.

Um die Diskussion allgemeiner zu halten, wird nachfolgend von Preisfaktoren gesprochen. Sofern Mietpreise davon betroffen sind, handelt es sich um Mietpreisfaktoren. Anhand dieser Studien soll geklärt werden, inwiefern Differenzierungen der Preisfaktoren angezeigt sind oder nicht. Folgende Differenzierungen sollen nachfolgend näher untersucht werden:

- Lärmquellen
- Nutzung
- Eigentumsverhältnisse
- Regionen
- Ausrichtung lärmempfindlicher Räume

Differenzierung nach Lärmquelle

Grundsätzlich ist eine Differenzierung nach Lärmquelle denkbar und plausibel, da Lärm je nach Quelle anders empfunden wird. Auch wenn die mittlere Belastung zweier Lärmquellen gleich hoch ist, kann der Lärm der einen Quellen als störender empfunden werden als der Lärm der anderen Quelle. Die LSV kennt aus diesem

Grund auch nach Lärmquellen differenzierte Beurteilungspegel (mehr dazu in Kapitel 3.3.4 zu den Schwellenwerten).

Die betrachteten Studien zeigen, dass Hinweise auf unterschiedliche Preisabschläge von unterschiedlichen Lärmquellen empirisch festgestellt werden können. So zeigt die Studie der ZKB (2012), dass ein zusätzliches Dezibel mehr Strassenlärm einen Mietpreisabschlag von 0.21% bewirkt. Der Abschlag aufgrund einer Erhöhung der Lärmbelastung um eine Dezibel Bahnlärm beträgt 0.26%. Inwiefern diese beiden Effekte auch statistisch gesehen unterschiedlich sind oder sich die Bandbreiten, in welchen sich die Schätzwerte bewegen, überlappen, kann auf der Grundlage der vorliegenden Informationen nicht geklärt werden. Einen direkten Vergleich dieser Preisfaktoren mit anderen Preisfaktoren aus Tabelle 10 ist nicht immer möglich, da sich die Preisfaktoren auf unterschiedliche Schwellenwerte beziehen. Sofern die Schwellenwerte gleich sind oder der Preisabschlag auf einen konkreten dB(A)-Wert bezogen wird, sind Vergleiche der Preisabschläge möglich. Fahrländer Partner (2014) berechnen zur Einordnung verschiedener Preisabschläge bspw. approximative Reduktionen bei einer Lärmbelastung von 55 dB(A). Bezogen auf die Resultate aus Fahrländer Partner (2014) ergeben sich für Strassen-, Bahn und Fluglärm Abschläge von -0.9%, -0.72% bzw. -0.85%.

Die in Tabelle 10 aufgeführten Preisfaktoren wurden mittels Regressionsanalyse geschätzt. Bei der Schätzung der Preisfaktoren einer bestimmten Lärmquelle wird der Einfluss von anderen Faktoren, insbesondere auch von anderen Lärmquellen, konstant gehalten. Das bedeutet bspw., dass der Preisfaktor für Strassenverkehrslärm nur den Effekt von Strassenlärm aufnimmt und nicht noch Effekte von Lärm aus anderen Lärmquellen. Auf der Grundlage der vorliegenden Informationen kann nicht beurteilt werden, ob auch Interaktionen von Lärmbelastigungen verschiedener Lärmquellen berücksichtigt wurden. Bspw. könnte die Belästigung durch Bahnlärm als störender empfunden werden, wenn zugleich auch noch eine Belästigung durch Strassenverkehrslärm vorhanden ist.²⁸

Differenzierung nach Regionen

Für eine regionale Differenzierung der Preisfaktoren gibt es in der Literatur nur wenige Hinweise. In Fahrländer Partner (2014) werden die Effekte von Strassen-, Bahn- und Fluglärm auf die Wohnungsmieten u.a. auch differenziert nach verschiedenen Raumtypen geschätzt. Hierbei zeigt sich, dass Preisabschläge aufgrund

²⁸ Gemäss Schreckenberget al. (2016) könnten solche Interaktionen zwischen Lärmbelastigungen verschiedener Lärmquellen durchaus auftreten. Die Literatur liefert hierzu keine einheitlichen Resultate.

von Strassenlärm v.a. in periurbanen (stadtnahen) Gemeinden zu verzeichnen sind. Bei Bahnlärm finden sich Hinweise auf Preisabschläge zudem auch in städtischen Gemeinden einer grossen Agglomeration.

Differenzierung nach Nutzungsarten

Wie in Kapitel 2.1.1 (Abschnitt zum Nutzen) bereits ausgeführt, wurde in der SRU NR. 301 mangels empirischer Studien keine Differenzierung der Mietpreisfaktoren nach verschiedenen Nutzungsarten (Wohnnutzung, Geschäftsnutzung) vorgenommen. Für andere als Wohnnutzungen werden deshalb Mietpreisfaktoren für die Wohnnutzung übernommen. Zu damals hat sich die Faktenlage verändert: Heute stehen empirische Ergebnisse zu (Miet-)Preiseffekte auch für andere als Wohnnutzungen (bzw. für Gewerbe und Dienstleistungen) zur Verfügung.

Fahrländer Partner (2014) untersuchen die Effekte von Lärmimmissionen auf Mietpreise für verschiedene Nutzungsarten. Empirisch belastbare Effekte sind gemäss dieser Studie nur für die Wohnnutzung feststellbar. Für Geschäftsnutzungen sind die geschätzten Effekte entweder nicht signifikant (Verkaufsflächen und Gastronomieflächen) oder weisen unplausible Werte auf (Büroflächen). Auch bei Betrachtung der Effekte von Lärmimmissionen auf Marktwerte für verschiedene Nutzungsarten zeigt sich dasselbe Bild: Während der Lärm Marktwerte von Wohnimmobilien negativ beeinflusst (vgl. Resultate in Tabelle 10), sind für Marktpreise von Geschäftsimmobilen keine negativen Effekte feststellbar.

Differenzierung nach Eigentumsverhältnissen

Die Resultate in Tabelle 10 zeigen, dass die Eigentumsverhältnisse die Höhe der Preisfaktoren beeinflussen. Die Preisabschläge bei Eigenheimen sind höher als bei Mietwohnungen.

Empirische Evidenz von Fahrländer Partner (2014) zeigt zudem, dass bei Renditeliegenschaften die Abschläge auf die Werte höher sind als auf Erträge (Mieten).²⁹ Als möglicher Grund zur Erklärung dieser Differenz werden (zusätzliche) Kosten und Risiken (wie Leerstände, erhöhte Fluktuationen, Selektion von Mietern mit bestimmten Eigenschaften wie schlechte Zahlungsmoral etc.) bei der Vermietung der Wohnungen genannt. Die Mietpreisfaktoren scheinen die tatsächlichen Mindereinnahmen bzw. Kosten also zu unterschätzen.

²⁹ Der Wert einer Liegenschaft ergibt sich theoretisch aus der diskontierten Summe der künftigen Zahlungsströme, die mit der Liegenschaft verbunden sind. Wird die Liegenschaft vermietet, ergibt sich der Wert somit aus der diskontierten Summe der künftigen Mieteinnahmen. Sofern die Lärmbelastung nur die Ertragsseite betrifft, sollten die Preisabschläge gleich gross sein.

Differenzierung nach Ausrichtung lärmempfindlicher Räume

In der gegenwärtigen KN-Methode spielt die geografische Ausrichtung (lärmabgewandte oder lärmzugewandte Seite des Gebäudes) der „lärmempfindlichen“ Räume (Wohnen, Schlafen) keine Rolle. In der Literatur (insb. Studien mit hedonischen Mietpreismodellen) wird die Ausrichtung von lärmempfindlichen Räumen nicht thematisiert. Empirische Grundlagen für eine Diskussion fehlen. Hier gilt es anzumerken, dass heute mit architektonischen Massnahmen (Grundrissaufteilung, Gestaltung der Fassaden und Gebäudeanordnung etc.) die lärmempfindlichen Räume so gut wie möglich von Lärmimmissionen abgeschirmt werden. Zumindest für neue Objekte würde eine Differenzierung nach der Ausrichtung lärmempfindlicher Räume hinfällig.

Funktionaler Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und (Miet-)Preisabschlag

In den hedonischen (Miet-)Preismodellen wird grundsätzlich ein linearer Zusammenhang unterstellt (bspw. auch ZKB 2011, 2012).³⁰ Gemäss Fahrländer Partner (2013) zeigen Studien aber, dass unterschiedliche Schwellenwerte unterschiedliche Preisabschläge bewirken, was gegen einen linearen Zusammenhang sprechen würde. Fahrländer Partner (2014) zeigen, dass ein linearer Zusammenhang zwischen Lärm und (Miet-)Preisabschlag zwischen Schwellenwert und einer bestimmten Obergrenze besteht (vgl. Resultate in Tabelle 10).

3.3.3. Lärmbedingte Gesundheitskosten

Allgemeine Bemerkungen

Bisher erfolgte die Monetarisierung der volkswirtschaftlichen Kosten auf der Grundlage einer mittels hedonischem Preisbildungsmodell geschätzten Belastungs-Wirkungs-Beziehung zwischen Lärmbelastung und Mietzinsabschlägen. Dabei wird davon ausgegangen, dass bewusst wahrgenommene Störungen über Mietzinsdifferenzen abgebildet werden. Inwiefern und in welchem Ausmass dabei auch Gesundheitsrisiken berücksichtigt werden, ist a priori nicht klar. Bei der Berechnung der externen Lärmkosten des Verkehrs (vgl. Ecoplan & Infras 2014) wird bspw. davon ausgegangen, dass die Mietzinsdifferenzen die lärmbedingten Gesundheitsfolgen nicht widerspiegeln. Aus diesem Grund werden zu den lärmbedingten Mietzinsausfällen die lärmbedingten Gesundheitskosten addiert. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Menschen der gesundheitlichen Folgen der

³⁰ Pro dB(A) zusätzlicher Lärmbelastung wird mit einem konstanten prozentualen Abschlag pro dB(A) gerechnet. Der Einfluss des Lärms ist entsprechend nicht vom Niveau des Lärms abhängig.

Lärmbelastung kaum bewusst sind und diese deshalb in ihren Entscheidungen nicht (oder zu wenig) berücksichtigen.³¹

Die Annahme, wonach die lärmbedingten Mietzinsausfälle die lärmbedingten Gesundheitskosten nicht abdecken, erscheint auf der Grundlage der von uns betrachteten Literatur zulässig. In WHO (2011, S. xvii) wird darauf hingewiesen, dass es unklar sei, inwiefern lärmbedingte Gesundheitseffekte verschiedener Outcomes additiv sind.³² WHO (2011, S. 104) mahnt daher grundsätzlich zur Vorsicht bei der Addition verschiedener Gesundheitseffekte aufgrund von Umweltrisiken. Bei der Lärmbelastung scheint diese Problematik gemäss WHO (2011) weniger stark ausgeprägt zu sein, da sich Effekte teilweise auf Tages- bzw. Nachtzeiten konzentrieren (bspw. Lärmbelästigungen über den Tag und Schlafstörungen in der Nacht). Auch CEDR (2017) gehen in ihrem Überblick über den aktuellen Stand der Durchführung von KN-Analysen im Bereich von Strassenverkehrslärm davon aus, dass Lärmbelästigungen und Gesundheitsrisiken zwei verschiedene Effekte sind.

Berücksichtigung Gesundheitskosten in der KN-Methode

Nachfolgend skizzieren wir, wie die Gesundheitskosten in der KN-Methode berücksichtigt werden könnten. Der volkswirtschaftliche Nutzen (VN) aus der LSM ergibt sich wie bisher aus der Differenz der volkswirtschaftlichen Kosten (VK) ohne und mit LSM:

$$VN = VK_{Lärm,ohne} - VK_{Lärm,mit}$$

Die volkswirtschaftlichen Kosten ergeben sich dabei aus dem Produkt der Veränderung der Lärmbelastung ($\Delta dB(A)$), des Kostensatzes und der Anzahl der Personen, die einer Lärmbelastung über dem relevanten Schwellenwert ausgesetzt sind.

$$VK = \Delta dB(A) \cdot \text{Kostensatz} \cdot \text{Personen}_{Lärm}$$

³¹ Ein naheliegender Grund dafür ist, dass die gesundheitlichen Folgen der Lärmbelastung mit einer langen zeitlichen Verzögerung eintreten und deshalb kaum mit der Ursache (der Lärmbelastung) in Verbindung gebracht werden.

³² Es seien sowohl sich gegenseitig verstärkende wie auch gegenläufige Effekte bei gleichzeitigem Auftreten denkbar. Eine vorsichtige Schätzung verzichte auf die Berücksichtigung von sich verstärkenden Effekten.

Das für die Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten benötigte Mengen- und Wertegerüst kann sich an der VSS-Norm SN 641 828 (Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr: Externe Kosten), die für die Beurteilung von Projekten im Schweizerischen Strassenverkehr hinsichtlich der Veränderung der externen Kosten im Umweltbereich gültig ist, anlehnen.

Als *Mengengerüst* sind Daten zum Taglärm notwendig. SN 641 828 nennt in Ziffer 15.1 die zu verwendenden Kostensätze für die Berechnung der lärmbedingten Gesundheitskosten (*Wertegerüst*). Die Kostensätze sind als *lärmbedingte Gesundheitskosten pro dB(A) und Person* zu verstehen. SN 641 828 führt in Ziffer 15.1 Kostensätze für bluthochdruckbedingte Erkrankungen und ischämische Herzkrankheiten auf. Diese Differenzierung ist deshalb notwendig, weil den berücksichtigten Erkrankungen unterschiedliche Schwellenwerte zugrunde liegen. Der Schwellenwert gibt dabei an, ab welcher Lärmbelastung negative gesundheitliche Effekte zu erwarten sind. In Ecoplan (2007, S. 25) wird im Detail beschrieben, wie diese Kostensätze berechnet werden. Als Grundlage für die Berechnung dient Ecoplan et al. (2004). Um die Kostensätze zu berechnen, werden die lärmbedingten Krankheitskosten im Strassenverkehr im Jahr 2000 ins Verhältnis zur Lärmbelastung in dB(A) für alle Personen über dem entsprechenden Grenzwert der betrachteten Krankheit gesetzt. Für das Jahr 2000 ergeben sich Kostensätze pro dB(A) und Person von Fr. 14.65 für bluthochdruckbedingte Krankheiten bzw. Fr. 16.87 für ischämische Herzkrankheiten.³³ Die Schwellenwerte betragen 57 dB(A) Tageslärm³⁴ für bluthochdruckbedingte Krankheiten bzw. 65 dB(A) Tageslärm für ischämische Herzkrankheiten. Werden die Kostensätze mittels Nominallohnwachstum (BFS) auf den Preisstand von 2016 angepasst, ergeben sich Werte für bluthochdruckbedingte Krankheiten und ischämische Herzkrankheiten von Fr. 18.86 bzw. Fr. 21.59.

In den Kostensätzen sind folgende lärmbedingten Gesundheitskosten abgebildet:

- Medizinische Heilungskosten (Marktpreise)
- Nettoproduktionsausfälle (Marktpreise)
- Immaterielle Kosten (Zahlungsbereitschaften)

³³ In SN 641 828 werden Kostensätze pro dB(A) und Person von Fr. 16.72 für bluthochdruckbedingte Krankheiten bzw. Fr. 19.14 für ischämische Herzkrankheiten aufgeführt. Die Werte basieren auf Ecoplan (2007) und Ecoplan & Infras (2008).

³⁴ Da die Berechnungen gemäss SN 641 828 nur auf den Taglärm abstellen, sich die Belastungswirkungsbeziehungen für die bluthochdruckbedingten Erkrankungen allerdings auf den Nachtlärm beziehen, wird der Nachtlärm über den Taglärm approximiert. Diese Approximation stützt sich auf Experteneinschätzungen und führt dazu, dass der Grenzwert anstatt 50 dB(A) Nachtlärm bei 57 dB(A) Taglärm angesetzt wird (Ecoplan 2007).

Bei den immateriellen Kosten werden Todesfälle über das Konzept der verlorenen Lebensjahre (value of a life year lost, VLYL) bewertet.³⁵

Wie oben bereits erwähnt, werden als Outcomes bluthochdruckbedingte Erkrankungen und ischämische Herzkrankheiten in die Betrachtung einbezogen. Wie WHO (2011) und Ecoplan & Infrac (2014) aufzeigen, ist davon auszugehen, dass Lärm weitere gesundheitliche Einschränkungen und Schäden verursacht. Damit diese ebenfalls in die Berechnungen aufgenommen werden können, müssen diese Effekte mit Hilfe von Ursache-Wirkungs-Beziehungen quantifiziert werden können.³⁶ Hierzu sind verlässliche empirische Resultate notwendig. Ecoplan & Infrac (2014) berücksichtigen bspw. neben bluthochdruckbedingten Erkrankungen und ischämischen Herzkrankheiten auch Schlaganfälle.

Mögliche Aktualisierung

Das oben verwendete *Wertegerüst* aus der SN 641 828 basiert auf älteren Studien.³⁷ Mittlerweile wurden die Grundlagen angepasst und verfeinert (vgl. Ecoplan & Infrac 2014). Neben den bluthochdruckbedingte Krankheiten und den ischämische Herzkrankheiten werden neu auch Schlaganfälle berücksichtigt (S. 244). Weiter wurden die Expositions-Wirkungs-Beziehungen auf der Grundlage der neusten verfügbaren Literatur aktualisiert. Dabei wurden die Schwellenwerte (teilweise) deutlich nach unten angepasst. Für alle kardiovaskulären Endpunkte wird nun mit einem Schwellenwert von L_{DEN} von 48 dB(A) gerechnet.

Was das *Mengengerüst* anbelangt, würden die Daten zudem eine Differenzierung nach Lärmquellen ermöglichen. Für den Strassen-, Schienen- und Flugverkehr liegen Daten nach Lärmexposition der Bevölkerung pro Lärmklasse L_{DEN} vor (Ecoplan & Infrac 2014, Abbildung D-3 für den Strassen- und Schienenverkehr; Abbildung 8-10 für den Flugverkehr).

Auf der Grundlage der lärmbedingten Gesundheitskosten aus Ecoplan & Infrac (2014) und der Methodik aus Ecoplan (2007) wurden für das Jahr 2010 Kostensätze berechnet (vgl. Tabelle 11). Eine Differenzierung nach verschiedenen Krankheiten erübrigt sich, da für alle berücksichtigten Erkrankungen der gleiche Schwellenwert von L_{DEN} von 48 dB(A) unterstellt wird. Die mit der hier skizzierten Aktu-

³⁵ Da gemäss Ecoplan & Infrac (2004) keine Zahlungsbereitschaften für die Vermeidung eines verlorenen Lebensjahres zur Verfügung stehen, wird der VLYL über den Wert eines statistischen Lebens (value of a statistical life, VOSL) abgeleitet.

³⁶ Dabei wird keine Unterscheidung zwischen Verkehrsträgern vorgenommen, da die Datenlage für eine Differenzierung gemäss Ecoplan/Infrac (2014, S. 260) nicht ausreicht.

³⁷ Als Grundlage dient Ecoplan et al. (2004), Berechnungen für das Jahr 2000.

alisierung einhergehende Verwendung eines anderen Lärmmasses (L_{DEN}) würde allerdings eine Anpassung in der KN-Methode (bzw. der dafür notwendigen Lärmmessungen) erfordern.

Tabelle 11: Kostensätze lärmbedingte Gesundheitskosten

Verkehrsträger	Lärmbedingte Gesundheitskosten Total (*) [Mio. Fr.]	Lärmbelastung in dB(A) für alle Personen über 48 dB(A) L_{DEN} (**) [Mio. dB(A) und Pers.]	Kosten pro dB(A) und Person über 48 dB(A) L_{DEN} (***) [Fr.]
Strassenverkehr	598.89	71.71	8.35
Schienenverkehr	130.10	15.54	8.37
Luftverkehr	16.70	2.09	7.98

*Quelle: Eigene Berechnungen auf der Grundlage von Ecoplan & Infrac (2014) und Ecoplan (2007). Hinweise zur Berechnung: * Daten zum Strassenverkehr aus Ecoplan & Infrac (2014), Tabelle 8-28, S. 280, zum Schienenverkehr aus Ecoplan & Infrac (2014), Tabelle 8-29, S. 281 und zum, Luftverkehr aus Ecoplan & Infrac (2014), Tabelle 8-30, S. 281. ** Anzahl Personen mit Lärmbelastung > 48 dB(A) L_{DEN} (pro Lärmklasse L_{DEN}) multipliziert mit der Überschreitung von 48 dB(A) L_{DEN} (in dB(A)). Daten zum Strassen- und Schienenverkehr aus Ecoplan & Infrac (2014), Abbildung D-3, S. 567, und zum Flugverkehr aus Ecoplan & Infrac (2014), Abbildung 8-10, S. 256. *** = */**.³⁸*

3.3.4. Untergrenze für Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten

Allgemeine Bemerkungen

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 (Abschnitt über Nutzen) aufgezeigt, orientieren sich die Untergrenzen für die Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten von Lärm an den Belastungsgrenzwerten der LSV. Gemäss SRU Nr. 301 waren zum Zeitpunkt der Erarbeitung der Methode keine empirischen Befunde aus Akustik und Ökonomie verfügbar. Es wurde die Annahme getroffen, dass volkswirtschaftliche Kosten ab 5 dB(A) unter den massgebenden Grenzwerten der LSV entstehen. Die Massgebenden Grenzwerte unterscheiden sich dabei zwischen

- bestehenden (Immissionsgrenzwerte) und neuen Anlagen (Planungswerte)
- Empfindlichkeitsstufen (ES)
- Tages- und Nachtlärm

³⁸ Die Berechnung setzt die Annahme voraus, dass die Expositions-Wirkungs-Beziehungen linear sind. Die in Ecoplan & Infrac (2014) präsentierten Meta-Analysen beschreiben lineare Expositions-Wirkungs-Beziehungen.

Mittlerweile gibt es Hinweise in der wissenschaftlichen Literatur, auf welchem Niveau Schwellenwerte anzusetzen sind. Die Wahl der Untergrenzen hängt dabei stark mit den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, die für die Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten unterstellt werden, zusammen (vgl. Kapitel 3.3.2 und 3.3.3).

Tabelle 12 bietet eine Übersicht über Schwellenwerte für Mietpreisabschläge, die auf der Grundlage von Studien aus der Schweiz basieren. Die Studien der ZKB (2011, 2012) unterstellen eine Untergrenze von 40 dB(A) in der Nacht bzw. 50 dB(A) am Tag (falls der Nachtlärm < 40 dB(A) beträgt).³⁹ Die Schwellenwerte befinden sich somit im Bereich der Grenzwerte, die für neue Anlagen in der Empfindlichkeitsstufe II (Wohnzonen) (mit dem heute angewendeten Abschlag von 5 dB(A) auf den Planungswerten) verwendet werden.

Eine aktuelle Studie von Fahrländer Partner (2014) ermittelt untere und obere Schwellenwerte (je nach Lärmquelle bewegen sich die Intervalle zwischen 45-55 dB(A) Nachtlärm bei Strassenlärm, 47-55 dB(A) Nachtlärm bei Bahnlärm und 50-57 dB(A) Nachtlärm bei Fluglärm).⁴⁰

In Tabelle 12 sind Schwellenwerte für die Gesundheitskosten bzw. für verschiedene Gesundheitsendpunkte aufgeführt. Die Informationen stammen aus der Norm SN 641 828 und Ecoplan & Infras (2014). In SN 641 828 werden für bluthochdruckbedingte Krankheiten und ischämische Herzkrankheiten zwei unterschiedliche Schwellenwerte verwendet. Diese liegen bei 57 dB(A) bzw. 65 dB(A). Die Werte in der SN 641 828 basieren allerdings auf älteren Studien. Für die Gesundheitskosten wird in den Berechnungen der externen Lärmkosten (vgl. Ecoplan & Infras 2014) ein Schwellenwert von L_{DEN} 48 dB(A) unterstellt. Dieser Wert wird aus empirischen Studien, die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zwischen Lärmbelastung und Gesundheitsfolgen untersuchen, ermittelt. Der Schwellenwert gilt für ischämische Herzkrankheiten, Bluthochdruck-bedingte Krankheiten und Schlaganfälle. Der Schwellenwert wird nicht nach Verkehrsträger differenziert (vgl. auch Ausführungen zu den lärmbedingten Gesundheitskosten in Kapitel 3.3.3). EPA Network (2016) bietet eine Übersicht zu Schwellenwerten für unterschiedliche Outcomes.

³⁹ Vgl. Tabelle 1: Planungswerte in ES I.

⁴⁰ Innerhalb dieses Intervalls kann von einem linearen Abschlag auf die Mietpreise ausgegangen werden. Übersteigt die Lärmbelastung den oberen Schwellenwert, ist der Abschlag konstant.

Tabelle 12: Schwellenwerte Mietpreisabschläge und Gesundheitskosten

Verkehrsträger	Mietpreisabschläge		
	Wert [dB(A)]	Bemessungsgrösse	Quelle
Strasse	40 (Nacht)/50 (Tag), (falls Nachtlärm < 40 dB(A) beträgt)	Nachtlärm/Tageslärm	ZKB (2011, 2012)
Schiene			
Luft			
Strasse	45 (-55)*	Nachtlärm	F&P (2014)
Schiene	47 (-55)*		
Luft	50 (-57)*		
Verkehrsträger	Gesundheitskosten		
	Wert [dB(A)]	Bemessungsgrösse	Quelle
Strassenverkehr	57**, 65***	Tageslärm	SN 641 828
Schienenverkehr	48	LDEN	Ecoplan & Infrac (2014)
Luftverkehr			

Quelle: Vgl. Angaben in der Tabelle. Weitere Schwellenwerte für Gesundheitskosten führt EPA Network (2016) auf. * Angabe in Klammern bezieht sich auf Obergrenze für linearen Zusammenhang, ** 3Bluthochdruckbedingte Krankheiten; *** Ischämische Herzkrankheiten.

Die in Tabelle 12 aufgeführte empirische Evidenz zu Schwellenwerten zeigt kein einheitliches Bild. Während die Schwellenwerte, die den Schätzungen in ZKB (2011, 2012) unterstellt werden, im Bereich der Grenzwerte, die für neue Anlagen in der Empfindlichkeitsstufe II (Wohnzonen) (mit dem heute angewendeten Abschlag von 5 dB(A) auf den Planungswerten), liegen, weist die Studie von Fahrländer Partner (2014) höhere Schwellenwerte aus, die zudem nach Verkehrsträger differenziert werden. Geht man davon aus, dass die Lästigkeit des Lärms nicht nur von der Höhe, sondern auch von der Charakteristik des Lärms abhängig ist⁴¹, erscheinen nach Verkehrsträger differenzierte Schwellenwerte plausibler als einheitliche. Ein einheitliches Bild ergibt sich allerdings in Bezug auf die Beurteilung von zwei Differenzierungen, die in der aktuellen KN-Methode vorgenommen werden. Für eine Unterscheidung der Schwellenwerte zwischen bestehenden und neuen Anlagen gibt es auf Grundlage der gesichteten wissenschaftlichen Literatur keine Hinweise. Dies gilt auch für die Unterscheidung nach Empfindlichkeitsstufen, die in der aktuellen KN-Methode verlangt wird. Die Einteilung nach ES hat einen grossen Einfluss auf den Nutzen, da die Grenzwerte, ab welchen die volkswirt-

⁴¹ Vgl. Ecoplan & Infrac (2014, S. 260) und BGE 1C_589/2014, Urteil vom 3. Februar 2016.

schaftlichen Kosten anfallen, von der ES abhängig sind. Im Einzelfall kann dies bedeuten, dass eine Massnahme zugunsten von Wohngebäuden nur darum weniger Nutzen generiert, weil die geschützten Gebäude bspw. in der ES III anstatt in der ES II liegen.⁴²

Neben den rein ökonomischen Überlegungen gilt es an dieser Stelle auch raumplanerische Überlegungen einzubeziehen. Sollen die Massnahmen nicht isoliert betrachtet, sondern auch in die raumplanerischen Rahmenbedingungen eingebettet werden, würde die Festsetzung der Schwellenwerte auf Grundlage rein ökonomischen Überlegungen zu kurz greifen. Angestrebt werden Verdichtung / Durchmischung der Nutzung. Dabei kann es durchaus zu einem Zielkonflikt zwischen Verdichtung / Durchmischung und einer möglichst tiefen Lärmbelastung kommen. Die Einbettung wird in der aktuellen KN-Methode zu einem gewissen Grad implizit über die Orientierung der Schwellenwerte an den Grenzwerten der LSV vorgenommen (bspw. durch die Differenzierung der Grenzwerte nach Empfindlichkeitsstufen). Bei der rein ökonomischen Betrachtung würde diese implizite Berücksichtigung der raumplanerischen Rahmenbedingungen wegfallen. Es erscheint allerdings sinnvoll, eine Trennung vorzunehmen und die raumplanerischen Rahmenbedingungen nicht in die KN-Analyse aufzunehmen (bspw. über Differenzierung der Schwellenwerte), sondern als zusätzliche Indikatoren in die Gesamtbeurteilung einer Massnahme aufzunehmen.

Weiter ist zu beachten, dass eine Senkung der Schwellenwerte bei zu einer Ausdehnung des Nutzenperimeters führt. Dies kann in der Praxis zu Problemen führen, da der Untersuchungsperimeter ausgedehnt wird und ein grösserer Aufwand entsteht.

⁴² Eine Unterscheidung nach Empfindlichkeitsstufen könnte dann Sinn machen, falls Umgebungsgläusche einen „Hintergrundpegel“ erzeugen, der die Empfindlichkeit für Lärm beeinflusst (bspw. könnten diese Hintergrundgeräusche dazu führen, dass die Empfindlichkeit für Verkehrslärm abnimmt). Falls dies so wäre, könnte eine Differenzierung nach ES Sinn machen. Allerdings sind uns hierzu keine wissenschaftlichen Erkenntnisse bekannt.

4. Berücksichtigung von nicht-baulichen Massnahmen

4.1. Ausgangslage

Der Anwendungsbereich der KN-Methode ist gemäss SRU Nr. 301 (S. 33) auf LSM beschränkt, deren Wirkungen und Kostenfolgen projektspezifisch, lokal eingrenzbar und quantifizierbar sind. Die Anwendung der aktuellen KN-Methode beschränkt sich auf bauliche Massnahmen (Lärmschutzwände, Strassenbeläge), da diese LSM die oben genannten Kriterien gut erfüllen. Kosten und Nutzen sind projektspezifisch und lokal eingrenzbar. Zudem lassen sich die Kosten und Nutzen quantifizieren und monetarisieren. Die mit diesen Massnahmen verbundenen betriebswirtschaftlichen Kosten (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten) stehen als Standardwerte zur Verfügung. Der volkswirtschaftliche Nutzen lässt sich ebenso quantifizieren und monetarisieren und beschränkt sich dabei vornehmlich auf die Reduktion der Lärmbelastung (Mietpreisreduktionen, aber auch Gesundheitskosten, sofern diese einbezogen werden sollen). Ein weiterer Nutzen ist nicht oder nur in geringem Masse zu erwarten, weitere (volkswirtschaftliche) Kosten werden nicht betrachtet bzw. quantifiziert.

Für weitere, insbesondere nicht-bauliche Massnahmen wie Geschwindigkeitsreduktionen ist die aktuelle KN-Methode bzw. die Beurteilung mittels WTI aus folgenden Gründen nicht geeignet:

- *Keine Standardwerte bei den betriebswirtschaftlichen Kosten:* Es ist zwar anzunehmen, dass die nicht-baulichen Massnahmen keine hohen betriebswirtschaftlichen Kosten verursachen (s.u.). Dennoch liegen keine Standardwerte für Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten vor. Es wird wahrscheinlich auch schwierig sein, Standardwerte zu erheben, da sich diese Massnahmen nicht im selben Ausmass „normieren“ lassen wie die bisher berücksichtigten baulichen Massnahmen.
- *Zusätzliche volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen (und deren Quantifizierung und Monetarisierung):* Nicht-bauliche Massnahmen werden von weiteren volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen begleitet, die bei einer Bewertung nicht vernachlässigt werden dürfen. Bspw. können Geschwindigkeitsreduktionen auf der einen Seite Reisezeitverluste (volkswirtschaftliche Kosten), auf der anderen Seite Verbesserungen bei der Verkehrssicherheit (volkswirtschaftlicher Nutzen) hervorrufen. Zudem gibt es Fälle, in denen eine Geschwindigkeitsreduktion zu einer Verflüssigung des Verkehrs beiträgt (vgl. Grolimund + Partner 2017) und damit zu Reisezeitverkürzungen führen kann. Die aktuelle

KN-Methode ist für eine quantitative Berücksichtigung dieser Wirkungen nicht angelegt.

Im Hinblick auf eine Öffnung der KN-Methode für ein breiteres Massnahmenspektrum wurden in Kapitel 3.1.1 (zusammengefasst in Tabelle 3) bereits mögliche Anpassungen beschrieben, die eine grössere Flexibilität der KN-Methode für die Berücksichtigung von volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen bringen würde, die über direkt mit der Lärmreduktion verbundenen Kosten und Nutzen hinausgehen. Zusammengefasst würden die vorgeschlagenen Anpassungen bedeuten, dass grundsätzlich alle mit einer LSM verbundenen (volkswirtschaftlichen) Kosten und Nutzen soweit möglich quantifiziert und monetarisiert in die Bewertung einfließen könnten. Wirkungen, die nicht quantifiziert und / oder monetarisiert werden können, wären über qualitative oder quantitative Indikatoren in die Bewertung einzu-beziehen.⁴³

4.2. Nicht-bauliche Massnahmen im Verkehrsbereich

Nachfolgend wenden wir uns konkreten nicht-baulichen Massnahmen zu und prüfen, wie die Kosten und Nutzen dieser Massnahmen zu bewerten sind. Die folgenden Überlegungen beziehen sich auf die Anwendung der KN-Methode zur Beurteilung von nicht-baulichen Massnahmen an öffentlich konzessionierten Anlagen. Somit gelten immer noch die in der Ausgangslage erwähnten Kriterien projektspezifisch, lokal eingrenzbar und quantifizierbar.

4.2.1. Überblick

In Tabelle 13 werden mögliche nicht-bauliche Massnahmen im Verkehrsbereich, die zur Reduktion der Lärmbelastung grundsätzlich eingesetzt werden könnten, aufgeführt und kurz beschrieben. Dabei werden Massnahmen in den Bereichen

- Geschwindigkeitsreduktion,
- Verkehrsreduktion durch Massnahmen im Verkehrsnetz (Strassenverkehr) und
- (temporäre) Sperrungen/Verbote

unterschieden. Anschliessend werden die mit den Massnahmen verbundenen Kosten und Nutzen diskutiert. Dabei nehmen wir Bezug auf die vorangehenden Überlegungen in Kapitel 3.1.1, insbesondere auf die Frage, welche Wirkungen quantifiziert und monetarisiert und somit in einer KN-Analyse direkt berücksichtigt wer-

⁴³ Es müsste dann allerdings festgelegt werden, mit welchen Gewichten die verschiedenen Indikatoren versehen würden, damit die Informationen und Bewertungen aus den verschiedenen Indikatoren zu einer Gesamtbewertung aggregiert werden könnten.

den können und welche Wirkungen allenfalls als zusätzliche Indikatoren in der Beurteilung der Massnahmen berücksichtigt werden müssten. Dabei werden wir einen Fokus auf die Massnahme der Geschwindigkeitsreduktion legen, da diese Massnahme aktuell viel diskutiert wird.

Tabelle 13: Massnahmen im Bereich Strassenverkehr

Massnahme	Einsatzbereiche		
	Autobahn/ HLS	HVS	Sonstige Strassen
Geschwindigkeitsreduktion			
abschnittsweise Herabsetzung auf Tempo 80	x		
abschnittsweiser Einbezug in umliegende Tempo 30-Zonen oder Streckensignalisation Tempo 30. (Die Machbarkeit und Wirksamkeit von Geschwindigkeitsreduktionen ist abhängig von Charakter und Nutzungen des Abschnitts (Geschäfte/ÖV/Fussgänger) sowie vorhandenem Verkehrsverhalten und Geschwindigkeiten.)		x	
Tempo 30-Zone / Streckensignalisation Tempo 30 oder Begegnungszone Tempo 20			x
Temporäre Streckensignalisationen: nachts oder in Spitzenstunden, um homogenen Verkehrsfluss zu erreichen (aus Sicherheitsgründen auch zu Schulwegzeiten etc.)	x	x	x
Verkehrsreduktion durch Massnahmen im Verkehrsnetz			
Kanalisation: Verlagerung auf andere Strassen, mit dem Ziel den Verkehr auf einer nahen Hauptachse zu bündeln.		x	x
Unterbindung Durchgangsverkehr: Massnahmen zur Unterbindung des Durchgangsverkehrs im gesamten Quartier/der Gemeinde; Effekte sind dann die Folge eines Gesamtkonzeptes.		x	x
Einschränkung der Durchfahrtsmöglichkeit: Erschliessung weiterhin gewährleistet, aber keine Durchfahrt oder nur in einer Richtung, z.B. um Schleichverkehr zu unterbinden.		x	x
Erhöhung des Durchfahrtswiderstandes: Strassenraumgestaltung, oft auch mit Geschwindigkeitsreduktion verbunden.		x	x
Temporäre Sperrung / Verbote			
temporäre Sperrung nachts			x
temporäres Lastwagenverbot nachts			x
temporäres Motorradverbot nachts			x

4.2.2. Kosten

Im folgenden Abschnitt gehen wir näher auf die Kosten der Massnahmen ein:

- *Betriebswirtschaftliche Kosten:* Für die betriebswirtschaftlichen Kosten (wie Projektierungs- und Realisierungskosten) der in Tabelle 13 aufgeführten Mas-

snahmen liegen nach unserem Wissenstand keine Standardwerte vor. Diese müssten zuerst erhoben oder abgeschätzt werden. Im Vergleich zu den bisher berücksichtigten baulichen Massnahmen schätzen wir die Höhe dieser Kosten allerdings als tief ein.⁴⁴

- *Volkswirtschaftliche Kosten:* Bei den volkswirtschaftlichen Kosten sind insbesondere mögliche Reisezeitverluste bei Geschwindigkeitsreduktionen zu berücksichtigen. Ob und in welchem Ausmass Reisezeitverluste entstehen ist allerdings abhängig vom *Einsatzbereich* (innerorts, ausserorts) und dem *Verkehrsträger* (MIV, ÖV). Andere Kosten (wie Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit) entstehen im Vergleich zu den bisher betrachteten baulichen Massnahmen nicht. Es ist vielmehr davon auszugehen, dass ein Zusatznutzen entsteht, bspw. betreffend Verkehrssicherheit, Verkehrsverflüssigung (vgl. Grolimund + Partner 2017).

Die wichtigsten Überlegungen sind in Tabelle 14 abgebildet.

Tabelle 14: Übersicht Kosten Bereich Strassenverkehr

	Betriebswirtschaftliche Kosten	Volkswirtschaftliche Kosten	
		Reisezeitveränderungen ⁴⁵	Andere*
Geschwindigkeitsreduktion	tief	Ja/Nein	0
Verkehrsreduktion durch Massnahmen im Verkehrsnetz	tief	Ja/Nein	Ja/Nein
temporäre Sperrung / Verbote	tief	Nein	Ja/Nein

Anmerkungen: * Beeinträchtigung von Orts- und Landschaftsbild, Ökologische Auswirkungen, Beeinträchtigung von Wohnqualität, Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit, Beeinträchtigung der Erlebnisqualität der Verkehrsteilnehmer/innen oder auch Mehrverkehr an anderen Strassen bzw. zu anderen Zeiten mit möglichen negativen Auswirkungen.

4.2.3. Nutzen

Auf der Nutzenseite sind verschiedene Dimensionen zu berücksichtigen. Neben dem Nutzen aus der Lärmreduktion (bisher berücksichtigt werden lärmbedingte Mietpreisreduktionen, es könnten aber auch lärmbedingte Gesundheitskosten berücksichtigt werden) wären allenfalls auch weiterer Nutzen zu berücksichtigen,

⁴⁴ Vgl. auch Abbildung 4 in EPA Network (2016, S. 18).

⁴⁵ Bei der Massnahme Geschwindigkeitsreduktion wird primär an Reisezeitverluste gedacht, darum auch die Zuteilung zu den volkswirtschaftlichen Kosten. Es ist aber auch möglich, dass bspw. durch die Verflüssigung des Verkehrs aufgrund einer Temporeduktion Reisezeitgewinne entstehen können (vgl. Grolimund + Partner 2017).

bspw. erhöhte Verkehrssicherheit, bessere Erschliessungswirkung für Fussgänger und Radfahrer, Reisezeitvorteile für den öffentlichen Verkehr, Erhöhung der Aufenthaltsqualität⁴⁶, veränderte raumplanerische Entwicklungsmöglichkeiten etc. Weitere Nutzen wie verbesserte Wohnqualität und erhöhter Gebäudewert werden (zumindest teilweise) bereits über den Mietpreis berücksichtigt. Eine separate Berücksichtigung würde möglicherweise zu Doppelzählungen führen.

Verkehrsreduktionen durch Massnahmen im Verkehrsnetz haben selten allein den Lärmschutz zum Ziel, sondern folgen einer grösseren strategischen Planung, die die jetzt unter „weitere Nutzen“ aufgeführten Vorteile abzielt. Geschwindigkeitsreduktionen sind dagegen eine Massnahme, die isoliert angewendet werden kann, ohne die Funktion der Strasse im Netz und das Verkehrsaufkommen zu beeinträchtigen. Daher steht sie als Massnahme im Fokus, wenn es um LSM geht.

4.2.4. Fokus Geschwindigkeitsreduktion

Geschwindigkeitsreduktionen stehen aktuell sehr stark im Fokus wenn es um Lärmschutzmassnahmen geht. Bundes- und Baurekursgerichtsurteile⁴⁷ verpflichten die Strassenbauträger, die Wirkung von Tempo 30 zu testen, bevor allein passive Lärmschutzmassnahmen vorgesehen werden – auch wenn es sich dabei um Hauptverkehrsstrassen handelt. Dies hat auch dazu geführt, dass die Einführung von Tempo 30 heute vielerorts vor allem durch die Lärmthematik gesteuert wird.

Die vorangehenden Ausführungen haben gezeigt, dass gerade bei Geschwindigkeitsreduktionen neben den bisher berücksichtigten möglicherweise noch weitere Kosten und Nutzen einbezogen werden müssten. Wie in Tabelle 13 bereits aufgezeigt wurde, kann eine Geschwindigkeitsreduktion als LSM in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden. Je nach Einsatzbereich sind andere Wirkungen auf Kosten und Nutzen zu erwarten. Nachfolgend stellen wir die wichtigsten Wirkungen auf die betriebs- und volkswirtschaftlichen Kosten sowie auf den volkswirtschaftlichen Nutzen dar und beurteilen, ob und wie diese Wirkungen in einer KN-Analyse einbezogen werden könnten. Dabei unterscheiden wir zwischen Tempo-30-Massnahmen auf Kantons- und Gemeindestrassen und Geschwindigkeitsreduktionen auf Autobahnen.

⁴⁶ Eine Erhöhung der Aufenthaltsqualität ist ein Nutzen, der nicht die direkten Anwohner betrifft, sondern das Freiraumangebot der Stadt/Gemeinde als Ganzes.

⁴⁷ BGE 1C_589/2014, Urteil vom 3. Februar 2016 und BRG des Kantons Zürich, Entscheid R3.2016/00274 vom 7. Juni 2017.

Betriebswirtschaftliche Kosten

Bei Tempo-30-Zonen in Quartierstrassen werden häufig bauliche Massnahmen (Schwellen, Einengungen, Querschnittsveränderungen etc.) umgesetzt, was mit entsprechenden Kosten verbunden ist. Es zeigt sich aber auch, dass heute zunehmend Tempo-30-Zonen auch ohne bauliche (Begleit-)Massnahmen realisiert werden (oder bei Unterhaltmassnahmen nicht mehr wiedererstellt werden), da sich offensichtlich gezeigt hat, dass die Verkehrsteilnehmenden mit Tempo 30 vertraut sind. Die Studie von Grolimund + Partner (2017) zeigt, dass bei bestehenden Tempo-30-Zonen ohne bauliche Begleitmassnahmen (neben der Geschwindigkeitssignalisation) die mittlere effektive Geschwindigkeit nahe bei den gebotenen 30km/h liegt. Werden Tempo-30-Massnahmen ohne bauliche Begleitmassnahmen realisiert, fallen die entsprechenden Kosten für diese Massnahmen weg. Es verbleiben die (tiefen) Kosten für die Geschwindigkeitssignalisation. Wenn auf Hauptstrassen Tempo 30 eingeführt wird, dann stehen bauliche Massnahmen jedoch nicht oder in viel geringerem Umfang als bei Quartierstrassen zur Disposition. Der Grund ist, dass Barrieren und ähnliche Massnahmen, wie sie auf Quartierstrassen zum Einsatz kommen, den Verkehr auf Hauptstrassen zu sehr behindern. Werden Strassen im Ganzen Querschnitt umgebaut, um einen anderen Charakter zu erzielen, dann wirkt dies zwar auch auf Geschwindigkeit und Lärm, wird aber meist aus anderen Gründen angegangen (Erhaltungsmassnahmen Infrastruktur, verkehrliche Veränderungen, qualitative Aufwertung). Die Umsetzung von Tempo 30 ist aber von einer solch umfassenden baulichen Massnahme nicht abhängig. Dies bedeutet: Die Kosten der Implementierung von Tempo 30 auf Hauptstrassen sind generell relativ gering.⁴⁸ Dies gilt auch für Geschwindigkeitsreduktionen auf Autobahnen, da dort bauliche Begleitmassnahmen ausgeschlossen sind.

Höhere Betriebskosten können allerdings beim ÖV entstehen, wenn der ÖV über einen längeren Abschnitt von der Geschwindigkeitsreduktion betroffen ist und dies zu Sprungkosten im Netzbetrieb führt.

Volkswirtschaftliche Kosten

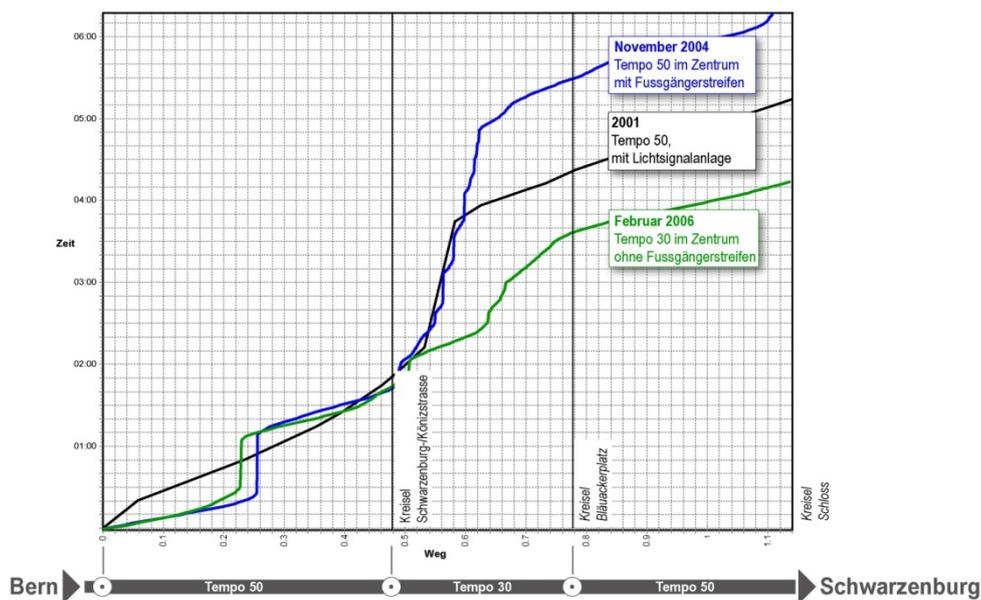
Wie in Tabelle 14 aufgeführt, können mit Geschwindigkeitsreduktionen Reisezeitverluste und damit einhergehend volkswirtschaftliche Kosten entstehen. Für die Einführung von Tempo 30 statt 50 auf Strassen innerhalb von Ortschaften zeigen bestehende Studien (bspw. Kobi 2015, Höfler 1994), dass der Verkehrsfluss we-

⁴⁸ Eine derzeit von Basler & Hofmann mit durchgeführte Forschungsarbeit untersucht Tempo-30-Massnahmen vertieft. Die Massnahmen beschränken sich im Wesentlichen auf Signalisation und Markierung.

sentlich durch andere Faktoren bestimmt wird und die Autofahrenden bei Tempo 30 insgesamt gleich schnell oder sogar schneller am Ziel sind wie bei Tempo 50.

Für Köniz konnte in der Wirkungsanalyse von Tempo 30 beispielsweise festgestellt werden, dass die Reisezeiten zur Durchquerung des Könizer Zentrums zurückgegangen sind (Gemeinde Köniz / Tiefbauamt des Kantons Bern 2010). Bei Tempo 50 ist der Fahrverlauf innerorts durch viele Stopps sowie steile Brems- und Beschleunigungsmanöver geprägt, während sich bei tieferen Geschwindigkeiten eine Verstetigung mit Verlangsamungen ohne Stopps einstellt. Das Weg-Zeit-Diagramm für Köniz veranschaulicht, dass heute mit Tempo 30 und ohne Fussgängerstreifen die Durchfahrt mit dem Auto weniger Zeit beansprucht als vor dem Umbau und vor allem bei Tempo 50 und Fussgängerstreifen.

Abbildung 10: Reisezeiten 2001, 2004 und 2006



Quelle: Gemeinde Köniz / Tiefbauamt des Kantons Bern (2010).

Die Notwendigkeit und Bedeutung des Einbezugs von Zeitkosten gilt es daher abzuwägen. Bei Temporeduktionen ausserhalb von Ortschaften kommt es auf die Höhe des Verkehrsaufkommens an. Bei sehr hohem Verkehrsaufkommen ist eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf Tempo 80 kapazitätssteigernd und daher positiv für die Reisezeiten. Auf nicht voll ausgelasteten Strecken dagegen lässt sich der Unterschied in der Geschwindigkeitssignalisation eins zu eins auf den Zeitbedarf

umrechnen: Eine 2 km langen Strecke, die mit 80 km/h statt 120 km/h befahren wird, dauert eine halbe Minute länger (1.5 statt 1 Minute).

Es stellt sich allerdings die Frage, wie diese Zeitkosten (sofern sie dann entstehen) in die Analyse aufgenommen werden sollten. Werden sie monetarisiert und direkt in die KN-Analyse aufgenommen, zeigen Bewertungspraxis und Literatur, dass Reisezeitveränderungen einen massgebenden Einfluss auf die Kosten (falls Reisezeitverlust) bzw. den Nutzen (falls Reisezeitgewinn) haben.⁴⁹

Gemäss den Ausführungen in Kapitel 3.1.1 zur Beurteilung der Effizienz von Massnahmen sind in KN-Analysen Kosten und Nutzen möglichst umfassend zu berücksichtigen. Wie aufgezeigt wurde, stellt sich die Frage, ob die Wirkungen der Massnahme a) quantifiziert und b) monetarisiert werden können. Für die Reisezeit liegen Grundlagen hierzu vor: Über die Erhebung von Verkehrsaufkommen und Länge des betroffenen Streckenabschnittes können Reisezeitveränderungen quantifiziert werden. Auf der Grundlage der wissenschaftlichen Literatur (v.a. Befragungen) sind zudem Zeitkostenwerte zur Monetarisierung von Reisezeitveränderungen abgeleitet worden (vgl. SN 641 822a für Zeitkosten im Personenverkehr, SN 641 823 für Zeitkosten im Güterverkehr).

Dem Vorgehen der reinen Monetarisierung von Reisezeitveränderungen steht der Ansatz der qualitativen oder quantitativen (aber nicht auf monetären Werten basierenden) Prüfung des Kriteriums der "Verhältnismässigkeit" gegenüber, der auch in der bisherigen Praxis der Verwaltungsjustiz (vgl. bspw. VPB 65.87) angewendet wird. Demnach ist eine Reduktion der Geschwindigkeit dann verhältnismässig, wenn der angestrebte Zweck mit der dem einzelnen Automobilisten auferlegten Beschränkung der etwas längeren Fahrzeit in einem vernünftigen Verhältnis steht. Eine relativ geringfügige Einschränkung seitens der Autofahrer führt zu einem direkt messbaren Effekt und damit zu einer Steigerung der Lebensqualität der betroffenen Bevölkerung. Bei einer solchen Abwägung ist es entsprechend auch von Bedeutung, wie viele Personen direkt von der Massnahme betroffen sind (Senkung der Lärmbelastung unter IGW) und wie viele Menschen zusätzlich von einer Lärmreduktion profitieren (Personen, die sich zu anderen als Wohnzwecken im betrachteten Perimeter aufhalten).

⁴⁹ Gemäss Obermayer & Evangelinos (2015) bspw. sind monetarisierte Reisezeitveränderungen bei KN-Analysen von Verkehrsinfrastrukturmassnahmen für rund 70 bis 90% des Nutzens verantwortlich. CEDR (2017) zeigt am Beispiel einer dänischen KN-Analyse für eine Geschwindigkeitsreduktion den bedeutenden Einfluss der monetarisierten Reisezeitveränderung auf die Bewertung auf. Die positiven Effekte der Temporeduktion werden durch die (monetarisierten) Reisezeitverluste mehr als wettgemacht.

Exkurs: Monetarisierung von Reisezeitveränderungen

Kostensätze für die Bewertung von Reisezeitveränderungen sind in den Normen SN 641 822a (für Zeitkosten im Personenverkehr) und SN 641 823 (für Zeitkosten im Güterverkehr) festgehalten. Die Kostensätze basieren auf Befragungsstudien.

In der wissenschaftliche Literatur und der Bewertungspraxis findet sich u.a. auch eine Diskussion über die Frage statt, ob Zeitkostenwerte (Fr. pro Stunde) nach der Grösse der Reisezeitveränderung zu differenzieren sind. Bspw. weist Small (2012) darauf hin, dass die geschätzten Zeitkostenwerte mit der bewerteten Reisezeitveränderung ansteigen. Eine mögliche Interpretation dieses Ergebnisses ist, dass kleine Zeitveränderungen teilweise nicht wahrgenommen werden (Austroads 2012). In der Konzeption des Bundesverkehrswegplanes 2015 wurde der Bewertung von kleinen Zeitveränderungen (weniger als 1-2 Minuten pro Nutzer) besondere Aufmerksamkeit gewidmet, da bisher eine Bagatellschwelle für Reisezeitveränderungen berücksichtigt wurde. Ein Forschungsprojekt (Axhausen et al. 2015) nahm sich u.a. der Frage an, ob eine solche Bagatellschwelle auf der Grundlage empirischer Befunde gestützt werden kann oder nicht. Gemäss Axhausen et al. 2015 nehmen nur 2 von 10 untersuchten Länder (Kanada, Deutschland) bei KN-Analysen eine Unterscheidung zwischen grossen und kleinen Reisezeitveränderungen vor. In Kanada werden Zeitgewinne kleiner als 5 Minuten aus der KN-Analyse exkludiert und als separater Faktor bei der Entscheidung mitberücksichtigt. In Deutschland wurde ein Schwellenwert berücksichtigt, indem der Zeitkostenwert für alle Reisezeitgewinne im Strassenverkehr um 30 % reduziert wurde. Gemäss BVWP (2016) kann auf der Grundlage des Forschungsprojekts gefolgert werden, dass kleine Zeitgewinne gleich zu bewerten sind wie grössere Zeitgewinne. Es sei keine wissenschaftliche Grundlage vorhanden, auf welcher Bagatellschwellen legitimiert werden könnten. Im Sinne der Transparenz soll jedoch ausgewiesen werden, falls die Zeitgewinne sehr gering sind.⁵⁰

Die Bewertungspraxis in der Schweiz (bspw. NISTRA) orientiert sich an den einleitend genannten Grundlagen. Es wird keine Differenzierung der Kostensätze nach der Grösse der Reisezeitveränderung vorgenommen.

Neben der Diskussion über die Bewertung von kurzen Reisezeitveränderungen findet in der Literatur auch eine Diskussion über die Abhängigkeit der Reisezeitkosten nach dem Reisezweck statt. Dabei erscheinen insbesondere Unterschiede zwischen Freizeitfahrten und anderen Fahrten von Bedeutung, da für Freizeitfahr-

⁵⁰ EPA Network (2106, S. 56): Unterscheidung zwischen kurzfristigen und langfristigen Effekten scheint wichtig zu sein.

ten geringere Zahlungsbereitschaften zu vermuten sind. Die Grundlagen für den Personenverkehr (SN 641 822a) ermöglichen die Bewertung von Reisezeitveränderungen differenziert nach Reisezwecken. Insbesondere steht ein Kostensatz für Freizeitfahrten⁵¹ zur Verfügung. Der Zeitkostensatz für den MIV für Freizeitfahrten liegt gemäss SN 641 822a rund 43% unter dem Zeitkostensatz für Pendelfahrten und rund 6% unter dem Zeitkostensatz für alle Fahrzwecke.⁵² Obermayer & Evangelinos (2015) zitieren eine Metaanalyse von Abrantes und Wardman (2011), wonach Pendelfahrten einen um 12% höheren Zeitkostensatz als Freizeitfahrten aufweisen (dabei scheint aber die Variation zwischen den Studien hoch zu sein). Der Zeitkostensatz für Freizeitfahrten ist zwar niedriger als für andere Fahrzwecke, allerdings liegt er nicht bei null. Da der Zeitkostensatz für alle Verkehrszwecke nahe beim Kostensatz für Freizeitfahrten liegt, erscheint eine Differenzierung nach Verkehrszweck nicht zwingend notwendig.

Volkswirtschaftlicher Nutzen

In der aktuellen KN-Methode wird die Lärmbelastung bzw. die mit der LSM verbundene Lärmreduktion über den gemittelten Lärmpegel abgebildet. Das Bundesgericht hat in einem Urteil (BGE 1C_589/2014, Urteil vom 3. Februar 2016) festgehalten, dass der Nutzen von Lärmsanierungen mittels Geschwindigkeitsreduktionen im Einzelfall betrachtet werden muss. Dabei sind neben dem Einfluss der Massnahme auf den durchschnittlichen Lärmpegel u.a. auch der Einfluss auf die Lärmspitzen zu beachten. Gerade diese Lärmspitzen werden als störend empfunden. Der aus der Senkung der Lärmspitzen abgeleitete Nutzen wird in der gegenwärtigen KN-Methode allerdings nicht bzw. über die gemittelten Lärmpegel nur unzureichend berücksichtigt. Zurzeit werden Grundlagen für eine differenzierte Bewertung anhand des Modellversuchs in der Grabenstrasse in Zug und unter Beteiligung des BAFU erarbeitet. Ergebnisse werden Mitte 2018 erwartet. Mit der Studie von Grolimund + Partner (2017) liegen erste Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30 bereits vor. Es werden verschiedene Einflussfaktoren auf die Lärmwirkungen von Geschwindigkeitsreduktionen genannt: Roll- und Antriebsgeräusche, Fahrzeugpark und Bereifung (bzw. Entwicklungen dazu⁵³), Fahrverhalten (Fahrstil, Gangwahl, Stetigkeit der Fahrweise), Strassenbauliche Massnahmen (wie Schwellen etc.) und gestalterische Massnahmen und Strassenbe-

⁵¹ Die Freizeitfahrt ist die definiert als Fahrt zu allen übrigen Aktivitäten (keine Pendel-, Einkaufs- und Nutzfahrten).

⁵² Die Analyse von Axhausen et al. (2015) weist für den MIV einen Zeitkostensatz für den Fahrzweck Freizeit auf, der rund 11% unterhalb des Zeitkostensatzes für alle Fahrzwecke liegt.

⁵³ Leisere Antriebsgeräusche, lautere Rollgeräusche aufgrund von schwereren Fahrzeugen.

lag. Die Autoren kommen zum Schluss, dass bei der Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30 die Berücksichtigung des aktuellen Fahrzeugparks, des Fahrverhaltens und der Art der Massnahme bzw. Zonentyp entscheidend sind. Insgesamt seien durch die Einführung von Tempo 30 wesentliche Lärmreduktionen möglich.

Neben einer verminderten Lärmbelastung kann aus einer Geschwindigkeitsreduktion aber auch weiterer Nutzen entstehen. Zu nennen wären hier bspw. die Verstärkung des Verkehrsflusses (EKLB 2015), bessere Erschliessungswirkung für Fussgänger und Radfahrer, Erhöhung der Aufenthaltsqualität, veränderte raumplanerische Entwicklungsmöglichkeiten und die Verbesserung der Verkehrssicherheit⁵⁴. Zur Beurteilung der Veränderung der Verkehrssicherheit im konkreten Anwendungsfall könnte der Effekt einerseits über die Anwendung von Mengen- und Wertegerüst aus der entsprechenden Norm für KN-Analysen im Strassenverkehr (SN 641 824) quantifiziert und monetarisiert werden. Als Alternative würde sich aber auch eine Beurteilung anhand von Konflikten anbieten. Dabei wird die Interaktion zwischen den Verkehrsteilnehmern untersucht, bspw. das Verhalten von Autofahrern und Fussgängern an den Fussgängerstreifen. Es könnte untersucht werden, ob und wie stark die Anhaltebereitschaft von Autofahrern an Fussgängerstreifen von der signalisierten Geschwindigkeit abhängt.⁵⁵ Die Ergebnisse könnten quantifiziert, aber nicht monetarisiert werden. Gemäss Abbildung 4 könnte ein zusätzlicher Indikator die Dimension „Verkehrssicherheit“ abbilden und neben dem KN-Verhältnis in die Beurteilung der Massnahme einbezogen werden.

Zusammenfassung

In der Tabelle 15 werden die wichtigsten Aspekte (zweite Spalte) zu Kosten und Nutzen von Geschwindigkeitsreduktionen aufgeführt. Die dritte Spalte gibt Auskunft über die Art der Bewertung (qualitativ / quantitativ / monetarisiert). In der vierten Spalte werden die Herausforderungen bei der Bewertung benannt. Als zentrale Herausforderung kann Abbildung und Bewertung von Auswirkungen von Geschwindigkeitsreduktionen auf Reisezeitveränderungen herausgestrichen werden. Ob und wenn ja wie grosse Reisezeitveränderungen durch Geschwindigkeitsreduktionen entstehen ist abhängig von den Rahmenbedingungen (bspw. Einsatzbereich: Tempo 30 innerorts, Autobahnen, Kapazität) und kann daher nicht pau-

⁵⁴ Internationale Studien gehen davon aus, dass die Verringerung der gefahrenen Durchschnittsgeschwindigkeit um 1 km/h zu einer Reduktion des Unfallrisikos um 3 % führt. Die Wahrscheinlichkeit eines tödlichen Unfalls sinkt sogar um 4 bis 5 % (Faktenblatt „Geschwindigkeit“ der bfu 2008).

⁵⁵ Entsprechende Untersuchungen/Tests werden von Basler & Hofmann im Rahmen des Tempo 30 Monitorings vorgenommen.

schal beantwortet werden. Sofern eine Quantifizierung erfolgt, könnten Reisezeitveränderungen grundsätzlich monetarisiert und in der KN-Analyse integriert werden (Bewertungsgrundlagen liegen vor). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Bewertung von kleinen Reisezeitveränderungen in der Literatur noch strittig ist. Als Alternative würde sich eine Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Geschwindigkeitsreduktionen auf Basis eines quantitativen Indikators anbieten. Eine Reduktion der Geschwindigkeit wäre dann verhältnismässig, wenn der angestrebte Zweck mit der dem einzelnen Automobilisten auferlegten Beschränkung der etwas längere Fahrzeit in einem vernünftigen Verhältnis steht. Die Herausforderung dabei wäre, die offenen Begriffe zu operationalisieren und eine konsistente Bewertung der Massnahme, unter Einschluss von anderen Kosten und Nutzen, zu gewährleisten.

Weitere wichtige Herausforderungen betreffen die Quantifizierung der Lärmwirkung von Tempo 30 Massnahmen und die gesamthafte Beurteilung einer Massnahme unter Berücksichtigung verschiedener, auch qualitativer Indikatoren.

Basierend auf diesen Überlegungen erscheint die Beurteilung von Geschwindigkeitsreduktionen mit der aktuellen KN-Methode nicht möglich. Es wären grundlegende Anpassungen notwendig.

Tabelle 15: Übersicht Kosten und Nutzen Geschwindigkeitsreduktion

Kosten / Nutzen	Aspekte	Bewertung	Herausforderungen
Betriebswirtschaftliche Kosten	Kosten für strassenbauliche Massnahmen und Signalisation	quantitativ/monetariert	Nicht standardisiert, projektspezifisch
Volkswirtschaftliche Kosten	Reisezeitverlängerung	monetariert quantitativ / qualitativ	Auftreten Reisezeitveränderungen abhängig von den Umständen/Rahmenbedingungen (wie Kapazität, Einsatzbereich der Massnahme) (Mengengerüst) Bewertung (Monetarisierung) kurzer Reisezeitveränderungen strittig. Alternative: Abbildung mittels quantitativem Indikator zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit (vgl. S. xxx): Wahl Bewertungsmassstab, Gewichtung und Aggregation zu Gesamtbeurteilung.
	Reisezeitnachteile für den ÖV (Betriebskosten)	quantitativ/monetariert	Ermittlung von allfälligen „Sprungkosten“.
Volkswirtschaftlicher Nutzen	Reduktion Mietpreisschläge, Reduktion Gesundheitskosten	quantitativ/monetariert	Die Lärmwirkung von Tempo 30 hängt von verschiedenen Faktoren ab. Diese Faktoren gilt es bei einer Bewertung eines konkreten Projekts zu berücksichtigen.
	Reisezeitverkürzung (bspw. aufgrund Verflüssigung Verkehr)	monetariert quantitativ / qualitativ	Analog Herausforderungen bei Reisezeitverlängerungen bei volkswirtschaftlichen Kosten.
	Reisezeitvorteile für den ÖV (Betriebskosten)	quantitativ/monetariert	Ermittlung von allfälligen „Sprungnutzen“.
	Verkehrssicherheit	quantitativ / qualitativ (monetariert)	Abbildung mittels Indikatoren, Wahl Bewertungsmassstab, Gewichtung und Aggregation zu Gesamtbeurteilung.
	Bessere Erschliessungswirkung für Fussgänger und Radfahrer	qualitativ	
	Erhöhung der Aufenthaltsqualität	qualitativ	
	Verbesserte raumplanerische Entwicklungsmöglichkeiten	qualitativ	

5. Synthese und Simulation

In den Kapiteln 3.1 (Grundsätzliche Beurteilung), 3.2 (Prüfpunkte Kosten) und 3.3 (Prüfpunkte Nutzen) wurden Grundlagen und Annahmen der aktuellen KN-Methode geprüft bzw. aktuellen Erkenntnissen aus der (wissenschaftlichen) Literatur gegenübergestellt. Zudem wurden Kostensätze für Bau, Betrieb und Unterhalt von Lärmschutzwänden und Strassenbelägen aktualisiert. Hierfür wurden Daten, die von Kantonen, von Städten, dem ASTRA und dem BAV zur Verfügung gestellt wurden, verwendet. In Kapitel 4 wurde der Frage nachgegangen, ob nicht-baulichen Massnahmen im Rahmen der KN-Methode künftig ebenfalls untersucht werden können.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Auf Grundlage der Aktualisierung von Inputdaten und der Prüfung von Grundlagen und Annahmen können Anpassungen an der KN-Methode vorgenommen und deren Effekte simuliert werden. Diese Anpassungen haben beispielhaften Charakter; eine Anpassung der KN-Methode soll an dieser Stelle nicht vorweggenommen werden. Dennoch ist es von Interesse zu sehen, wie sich allfällige Änderungen auf die Beurteilung eines konkreten Projekts mittels WTI auswirken würden. Für die folgenden Simulationen wurde auf das Beispielprojekt aus dem Berechnungsmodul zur UV-0637 (Anhang 4, Beilage 3) zurückgegriffen. Als Berechnungsbeispiel dient ein fiktiver Ort an einer Hauptstrasse. Als LSM werden eine Lärmschutzwand (Höhe: 2m, Länge: 260m) sowie ein Belagersatz (Typ: SDA 8a, Breite: 7.5m, Länge: 500m) realisiert. Der Ort besteht aus sieben Gebäuden und einer Parzelle. Die Gebäude haben 1 bis 6 Stockwerke, die Gebäudefläche beträgt 1'200m². Fünf Gebäude liegen in der ES III (eines davon in der ES IIIB⁵⁶), die anderen zwei Gebäude in der ES II.

5.1. Grundsätzliche Beurteilung

In Kapitel 3.1 wurde eine grundsätzliche Beurteilung der KN-Methode vorgenommen. Dabei wurden die Elemente Effizienz, Effektivität und Interessenabwägung mittels WTI näher betrachtet. Die zentralen Erkenntnisse lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- *Effizienz*: Um die KN-Methode für die Beurteilung eines breiten Spektrums an Massnahmen offen zu halten, wären Anpassungen an der Methode notwendig.

⁵⁶ Gemäss Berechnungsmodul zur UV-0637 ist für Objekte, die nur gewerblich genutzt werden, die Eingabe der Empfindlichkeitsstufe mit einem „B“ zu ergänzen.

Die Wirkungen einer Massnahme (Kosten und Nutzen) wären möglichst umfassend zu berücksichtigen. Dabei wäre zu prüfen, ob sich die Wirkungen a) quantifizieren und b) monetarisieren lassen. Alle Wirkungen, die monetarisiert werden können, wären in der KN-Analyse zu integrieren. Alle anderen Wirkungen wären als zusätzliche Indikatoren in quantitativer oder qualitativer Form zu berücksichtigen.

- *Effektivität*: Es ist zu überlegen, ob die Effektivität nur über die Gebäudefläche bemessen wird oder ob allenfalls auch die Anzahl der von Lärm betroffenen Personen zu berücksichtigen ist. Dabei könnte das Vorgehen, wie es in der aktuellen KN-Methode für die Beurteilung der Effektivität auf der Grundlage der Gebäudeflächen Anwendung findet, auf die Betrachtung der Anzahl Personen übernommen werden (Orientierung an IGW bzw. PW).⁵⁷
- *Beurteilung mittels WTI*: Die Verrechnung von Effizienz und Effektivität zu einem Gesamtwert kann zu Fällen führen, die aus ökonomischer Sicht nicht überzeugen. Die Berücksichtigung der Effektivität als eigenständiger Indikator neben dem NK-Verhältnis würde sich anbieten.

5.2. Prüfpunkte Kosten

In Kapitel 3.2 wurden kostenseitige Inputdaten für die KN-Methode aufdatiert. Für Lärmschutzwände und Strassenbeläge wurden Kosten für Bau, Betrieb und Unterhalt bei Kantonen, Städten, ASTRA und BAV erhoben. Zudem wurde aufgezeigt, welcher Zinssatz sich für die Umrechnung der Investitionskosten in jährliche Kosten eignen würde und auf welcher Datenquelle der Kapitalzinssatz berechnet werden könnte. Die zentralen Erkenntnisse lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- *Kosten Lärmschutzwände*: Die Kosten für die Lärmschutzwände weisen je nach Lage der Wand (Stadt, Agglomeration, Land) und Material (Beton, Holz; Steinkorb, etc.) einen grossen Schwankungsbereich auf. Eine Differenzierung der Kosten ist aber kaum möglich, da im Planungsstand das Material in der Regel nicht bekannt ist und die Abgrenzung Stadt/Agglomeration/Land nicht eindeutig vorgenommen werden kann.
- *Belagskosten*: Die Kosten für lärmarme Beläge stammen in erster Linie aus der kürzeren Lebensdauer der Deckbeläge. Der SDA4 hat eine Lebensdauer von

⁵⁷ Bei einer allfälligen Anpassung der Grenzwerte (vgl. Ausführungen zu Untergrenze für Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten in Kapitel 5.3) wären für die Beurteilung der Effizienz auf der Grundlage der Anzahl Personen die entsprechend angepassten Werten zu verwenden.

20 Jahren, eine halb so lange Lebensdauer wie konventionelle Beläge. Nach 10 Jahren muss man eine neue Deckschicht einbauen

- *Kapitalzins*: Um die Investitionskosten, die zu Beginn der Laufzeit einer Massnahme anfallen, mit der sog. Annuitätenmethode auf jährliche Kosten umzurechnen, ist ein Kapitalzins einzusetzen. Es werden verschiedene Werte aus anderen KN-Analysen genannt. Vor dem Hintergrund, dass die öffentliche Hand Investitionen tätigt, erscheint die Orientierung an (langfristigen) Renditen von Obligationen der Schweizerischen Eidgenossenschaft als angebracht.
- *Kosten für Betrieb und Unterhalt*: Bei Lärmschutzwänden fallen während der gesamten Lebensdauer von 40 Jahren an den Wänden selbst keine nennenswerte Unterhaltskosten an. Einzig für die Bepflanzung des der Fläche zwischen Wand und Strasse wird je nach Bepflanzung Unterhalt erforderlich. Kosten für Betrieb und Unterhalt von Belägen sind schwierig zu ermitteln. Entsprechend schwierig ist die Identifikation von Unterschieden in den Betriebs-/Unterhaltskosten. Auf der Grundlage der uns vorliegenden Informationen finden sich keine Hinweise auf unterschiedliche Kosten für Betrieb und Unterhalt zwischen Referenz- und Alternativbelägen.

In Tabelle 16 werden die Auswirkungen einer Veränderung des Kapitalzinssatzes auf Effektivität, Effizienz und WTI auf der Grundlage des Berechnungsbeispiels aus dem Berechnungsmodul zur UV-0637 (Anhang 4) simuliert. Dabei wird zwischen bestehender und neuer Anlage unterschieden. Die Veränderung des Kapitalzinssatzes hat keine Auswirkungen auf die Effektivität. Die Effizienz und der WTI steigen aufgrund der Senkung des Kapitalzinssatzes von 3% (aktueller Wert) auf 1.9% (Herleitung s. Kapitel 3.2.3) um rund 12%.

Tabelle 16: Simulation Veränderung Kapitalzins

Wirtschaftliche Tragbarkeit	Bestehende Anlage			Neue Anlage		
	alt	neu	Δ (%)	alt	neu	Δ (%)
Effektivität [%]	85	85	0%	79	79	0%
Effizienz	0.58	0.65	12.2%	0.81	0.91	12.7%
WTI	1.97	2.21	12.3%	2.57	2.90	12.7%

Quelle: Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4 (Berechnungsbeispiel). Anmerkung: Für die Simulation wird ein Zinssatz von 1.9% unterstellt.

In Tabelle 17 und Tabelle 18 werden die Auswirkungen einer Veränderung der Kosten für Lärmschutzwände und Beläge auf Effektivität, Effizienz und WTI si-

muliert. Hierfür dient wiederum das Berechnungsbeispiels aus dem Berechnungsmodul zur UV-0637 (Anhang 4). Die Anpassungen bei den Kosten haben keine Auswirkungen auf die Effektivität. Effizienz und WTI sinken bei der Anpassung der Kosten für Lärmschutzwände um rund 42% (bestehende und neue Anlagen), bei der Anpassung der Kosten für Beläge um rund 8% (bestehende und neue Anlagen).

Tabelle 17: Simulation Veränderung Kosten Lärmschutzwand

Wirtschaftliche Tragbarkeit	Bestehende Anlage			Neue Anlage		
	alt	neu	Δ (%)	alt	neu	Δ (%)
Effektivität [%]	85	85	0%	79	79	0%
Effizienz	0.58	0.34	-41.7%	0.81	0.47	-41.4%
WTI	1.97	1.15	-41.6%	2.57	1.51	-41.4%

Quelle: Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4 (Berechnungsbeispiel). Anmerkungen: Für die Simulation werden folgende Annahmen getroffen: Kosten pro m² von Fr. 2'000, Lebensdauer von 40 Jahren.

Tabelle 18: Simulation Veränderung Kosten Belag

Wirtschaftliche Tragbarkeit	Bestehende Anlage			Neue Anlage		
	alt	neu	Δ (%)	alt	neu	Δ (%)
Effektivität [%]	85	85	0%	79	79	0%
Effizienz	0.58	0.53	-7.9%	0.81	0.75	-7.5%
WTI	1.97	1.82	-7.8%	2.57	2.38	-7.5%

Quelle: Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4 (Berechnungsbeispiel). Anmerkungen: Für die Simulation werden folgende Annahmen getroffen: Kosten Belag SDA 8 pro m² über eine Laufzeit von 40 Jahren von Fr. 110, Kosten Referenzbelag pro m² über eine Laufzeit von 40 Jahren von Fr. 88. Prozentualer Anteil für Betrieb/Unterhalt an den Investitionskosten von je 1%.

5.3. Prüfpunkte Nutzen

In Kapitel 3.3 wurden verschiedene Aspekte der bestehenden KN-Methode, die den Nutzen betreffen, unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur geprüft. Die zentralen Erkenntnisse lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- *Durchschnittlicher jährlicher Mietpreis:* Eine Aktualisierung des durchschnittlichen Mietpreises pro m² BGF kann auf der Grundlage der jeweils aktuell verfügbaren Strukturerhebung des BFS vorgenommen werden. Der aktualisierte

durchschnittliche Mietpreis pro m² BGF liegt mit Fr. 155 etwas höher als der bisher verwendete Wert von Fr. 150. Eine regionale Differenzierung des Mietpreises wäre grundsätzlich möglich. Es ist allerdings eine politische Frage, ob eine regionale Differenzierung vorgenommen werden soll oder nicht. Eine Differenzierung nach Eigentumsverhältnissen ist hingegen nicht direkt möglich, da (fiktive) Mietpreise für Eigentumswohnungen fehlen. Da Quadratmeterpreise verwendet werden, sind allfällige Unterschiede zwischen Miet- und Eigentumswohnungen, sofern sie sich in der Fläche niederschlagen, berücksichtigt. Nicht berücksichtigt werden hingegen allfällige qualitative Unterschiede zwischen Miet- und Eigentumswohnungen.

- *Mietreduktion durch Lärmimmission:* Die Literatur bietet für die Schweiz relativ neue empirische Ergebnisse zu den Mietpreisabschlägen aufgrund von Lärmimmissionen. Diese Resultate zeigen, dass die Mietpreisfaktoren (teilweise) deutlich tiefer sind als die Faktoren, die in der aktuellen KN-Methode verwendet werden. Es kann zudem von einem linearen Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Mietpreisreduktion ausgegangen werden. Differenzierungen der Mietpreisfaktoren nach Lärmquelle (Strassen-, Schienen- und Luftverkehr) sowie nach Eigentumsverhältnissen wären gemäss empirischer Evidenz angezeigt. Demgegenüber scheint eine Differenzierung nach der Nutzung (Wohnen, Gewerbe, Dienstleistungen) nicht nötig, da nur für die Wohnnutzung belastbare Effekte aufgezeigt werden können.
- *Lärmbedingte Gesundheitskosten:* Die lärmbedingten Gesundheitskosten werden in der aktuellen KN-Methode nicht berücksichtigt. Aufgrund der Literatur kann davon ausgegangen werden, dass die Gesundheitskosten als zusätzliche Kosten (zu den lärmbedingten Mietpreisabschlägen) zu berücksichtigen sind.
- *Untergrenze für Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten:* Die wissenschaftliche Literatur gibt mittlerweile gute Anhaltspunkte, ab welchem Schwellenwert Lärm als Belästigung empfunden wird und ab wann die Lärmbelastung gesundheitliche Kosten verursacht. Die in der Literatur genannten Schwellenwerte bewegen sich im Niveau grob zwischen Planungs- und Immissionsgrenzwerten der LSV für Wohnzonen der ES II.

In Tabelle 19 werden die Auswirkungen einer Veränderung des durchschnittlichen jährlichen Mietpreises pro m² BGF (alt: Fr. 150; neu: Fr. 155) auf Effektivität, Effizienz und WTI simuliert. Dabei wird zwischen bestehender und neuer Anlage unterschieden. Die Veränderung des Mietpreises hat keine Auswirkungen auf die Effektivität. Die Effizienz und der WTI steigen aufgrund der Verwendung des aktualisierten Mietpreises um 3% bzw. 3.7%.

Tabelle 19: Simulation Veränderung Mietpreis

Wirtschaftliche Tragbarkeit	Bestehende Anlage			Neue Anlage		
	alt	neu	Δ (%)	alt	neu	Δ (%)
Effektivität [%]	85	85	0%	79	79	0%
Effizienz	0.58	0.60	3.4%	0.81	0.84	3.7%
WTI	1.97	2.03	3.0%	2.57	2.66	3.5%

Quelle: Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4 (Berechnungsbeispiel). Anmerkung: Annahme Mietpreis pro m² BGF Fr. 155.20.

In Tabelle 20 werden die Auswirkungen einer Veränderung der Mietpreisfaktoren und der Schwellenwerte für die Mietpreisabschläge auf Effektivität, Effizienz und WTI berechnet. Dabei wird wiederum zwischen bestehenden und neuen Anlagen unterschieden. Für die Berechnungen werden folgende Anpassungen vorgenommen (dabei orientieren wir uns an den Mietpreisfaktoren und Schwellenwerten aus ZKB 2011, 2012):

- Reduktion der Mietpreisfaktoren von 0.8%-1% (je nach Lärmklasse) auf 0.2%.
- Keine Differenzierung nach Lärmklassen (Effekt ist linear)
- Schwellenwerte werden bei 40 dB(A) Nachtlärm festgelegt. Falls der Nachtlärm < 40 dB(A), wird der Schwellenwert bei 50 dB(A) Taglärm festgelegt. Keine Differenzierung nach bestehenden und neuen Anlagen.

Die Veränderung der Mietpreisfaktoren haben keine Auswirkungen auf die Effektivität. Sofern sich die Effektivität an den angepassten Schwellenwerten bemessen würde, ergäben sich entsprechende Veränderungen der Effektivität. Wir nehmen für die folgenden Simulationen an, dass sich die Berechnung der Effektivität (weiterhin) an den Grenzwerten der LSV orientiert (mit entsprechenden Differenzierungen nach bestehende/neue Anlage und nach Empfindlichkeitsstufen).

Die Effizienz nimmt aufgrund der Veränderungen (Anpassung nach unten) der Mietpreisfaktoren deutlich ab. Die Reduktion der Schwellenwerte vermögen den Rückgang bei der Effizienz nicht auszugleichen.⁵⁸ Bei bestehenden Anlagen ist ein Rückgang der Effizienz um rund 70% zu verzeichnen, bei neuen Anlagen ein Rückgang um rund 79%. Mit dem Rückgang der Effizienz geht ein Rückgang des WTI einher. Während die Massnahme im Berechnungsbeispiel mit den bisherigen

⁵⁸ Werden nur die Schwellenwerte angepasst (die Mietpreisfaktoren bleiben auf den bisher verwendeten Werten), steigen Effizienz und WTI um rund 47% (bestehende Anlagen) bzw. rund 5% (neue Anlagen).

Inputdaten und Annahmen positiv beurteilt wurde ($WTI > 1$), wäre dies nach der Anpassung nicht mehr der Fall. Der WTI fällt deutlich unter 1.

Tabelle 20: Simulation Veränderung Mietpreisfaktoren und Schwellenwerte

Wirtschaftliche Tragbarkeit	Bestehende Anlage			Neue Anlage		
	alt	neu	Δ (%)	alt	neu	Δ (%)
Effektivität [%]	85	85	0%	79	79	0%
Effizienz	0.58	0.17	-70.6%	0.81	0.17	-78.9%
WTI	1.97	0.58	-70.5%	2.57	0.54	-78.9%

Quelle: Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4 (Berechnungsbeispiel). Anmerkungen: Annahme einheitlicher Mietpreisfaktor von 0.2% und Schwellenwert von 40 dB(A) Nachtlärm / 50 dB(A) Taglärm (falls Nachtlärm < 50 dB(A)).

In Tabelle 21 werden in Anlehnung an SN 641 828 (Tabelle 2) die Gesundheitskosten bzw. der aus der im Berechnungsbeispiel skizzierten LSM zu erwartende Nutzen berechnet. Da sich die Berechnungen der Gesundheitskosten auf die Personen und nicht auf die BGF bezieht, muss eine Abschätzung der betroffenen Personen mit und ohne LSM vorgenommen werden. Im Berechnungsmodul zur UV-0637 (Anhang 4) werden den Berechnungspunkten Wohneinheiten (WE) zugeordnet.⁵⁹ Gemäss Berechnungsmodul (S. 8) gilt ein pauschaler Ansatz von 3 Personen pro WE.

Um den Nutzen zu ermitteln, werden die Veränderungen der Anzahl Personen mit einer Lärmbelastung über den Schwellenwerten⁶⁰ mit dem jeweiligen Kostensatz multipliziert, wobei die Abnahmen der Anzahl Personen mit einem negativen Vorzeichen, die Zunahmen mit einem positiven Vorzeichen versehen werden. Der Nutzen ergibt sich aus der Summe dieser Werte. Ist die Summe negativ, resultiert insgesamt ein Nutzen aus der Massnahme in Bezug auf die lärmbedingten Gesundheitskosten. Im betrachteten Beispiel ergibt sich ein Nutzen von Fr. 4'994.⁶¹

⁵⁹ Gemäss Berechnungsmodul zur UV-0637 gilt: Bei Hochhäusern: 1 WE = 1 Wohnung; bei Mehrfamilienhäusern: 1 WE = 1 Wohnung; bei Einfamilienhäusern: 1 WE = 1 Haus, und wenn das EFH 2-geschossig ist: 1 Geschoss = 1/2 WE, wenn das EFH 3-geschossig ist: 1 Geschoss = 1/3 WE usw.

⁶⁰ SN 641 828: 57 dB(A) Tageslärm für bluthochdruckbedingte Krankheiten bzw. 65 dB(A) Tageslärm für ischämische Herzkrankheiten (vgl. auch Tabelle 12).

⁶¹ Werden nur die lärmbedingten Mietzinsabschläge für die Berechnung des Nutzens berücksichtigt, resultiert ein Nutzen von Fr. 19'305 (bestehende Anlage) bzw. Fr. 27'075 (Neuanlage). Wird der Nutzen aus den reduzierten Gesundheitskosten berücksichtigt, steigt der Gesamtnutzen auf Fr. 24'300 (bestehende Anlage) bzw. Fr. 32'070 (Neuanlage). Der Nutzen aus den reduzierten Ge-

Tabelle 21: Berechnungsbeispiel lärmbedingte Gesundheitskosten im Strassenverkehr

Lärmniveau [dB(A)]		Kostensatz [Fr.]	Veränderung [Anzahl Personen]	Ergebnis [Fr.]
58	58.99	18.9	0	0
59	59.99	37.7	0	0
60	60.99	56.6	6	340
61	61.99	75.4	2	113
62	62.99	94.3	3	283
63	63.99	113.2	3	340
64	64.99	132.0	0	0
65	65.99	150.9	0	0
66	66.99	191.4	2	287
67	67.99	231.8	9	2'086
68	68.99	272.3	-18	-4'901
69	69.99	312.7	0	0
70	70.99	353.2	0	0
71	71.99	393.6	-9	-3'543
72	72.99	434.1	0	0
73	73.99	474.5	0	0
74	74.99	515.0	0	0
75	75.99	555.4	0	0
76	76.99	595.9	0	0
77	77.99	636.4	0	0
78	78.99	676.8	0	0
79	79.99	717.3	0	0
Nutzen (Veränderung der Kosten bei Umsetzung LSM)				-4'994

Anmerkung: Eigene Berechnungen.

Wird der Nutzen aus der Reduktion der Gesundheitskosten zum bisher ausgewiesenen Nutzen addiert, ergeben sich die in Tabelle 22 aufgeführten Veränderungen. Effizienz und WTI nehmen um rund 25% (bestehende Anlagen) bzw. 18% (neue Anlagen) zu.

sundheitskosten ist somit für rund 21% (bestehende Anlage) bzw. rund 16% (Neuanlage) des Gesamtnutzes verantwortlich.

Wie bereits ausgeführt, beruhen die Kostensätze in SN 641 828 auf älteren Grundlagen. Am Schluss des Kapitels 3.3.3 unternahmen wir den Versuch einer Aufdatierung der Kostensätze. Auf eine Abschätzung des Nutzens aufgrund dieser aktualisierten Kostensätze wurde verzichtet, da die Lärmbelastung über das Mass L_{den} ausgewiesen werden müsste.

Tabelle 22: Simulation Berücksichtigung Gesundheitskosten

Wirtschaftliche Tragbarkeit	alt			neu		
	alt	neu	Δ (%)	alt	neu	Δ (%)
Effektivität [%]	85	85	0.0%	79	79	0.4%
Effizienz	0.58	0.73	25.5%	0.81	0.96	18.6%
WTI	1.97	2.47	25.6%	2.57	3.05	18.6%

Quelle: Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4 (Berechnungsbeispiel). Anmerkung: Es werden Gesundheitskosten von Fr. 4'994 beim Nutzen zugeschlagen.

5.4. Gesamteinschätzung

In Tabelle 23 werden die Auswirkungen aller Veränderungen simuliert. Die Veränderungen haben keinen Einfluss auf die Effektivität. Effizienz und WTI sinken unter den getroffenen Annahmen insgesamt deutlich. Den „positiven“ Veränderungen (im Sinne von: Effizienz und WTI steigen) durch die Erhöhung des Mietpreises, der Senkung des Zinssatzes, der Senkung der Schwellenwerte und der Berücksichtigung von Gesundheitskosten stehen „negative“ Veränderungen durch die höheren Kosten für Lärmschutzwände und Beläge sowie die Reduktion der Mietpreisfaktoren gegenüber.

Tabelle 23: Simulation alle Veränderungen

Wirtschaftliche Tragbarkeit	Bestehende Anlage			Neue Anlage		
	alt	neu	Δ (%)	alt	neu	Δ (%)
Effektivität [%]	85	85	0%	79	79	0%
Effizienz	0.58	0.21	-63.6%	0.81	0.21	-73.9%
WTI	1.97	0.72	-63.5%	2.57	0.67	-73.9%

Quelle: Berechnungsmodul zur UV-0637 Anhang 4 (Berechnungsbeispiel). Anmerkungen:

- Zinssatz: Für die Simulation wird ein Zinssatz von 1.9% unterstellt.
- Kosten Lärmschutzwand: Für die Simulation werden folgende Annahmen getroffen: Kosten Belag SDA 8 pro m^2 über eine Laufzeit von 40 Jahren von Fr. 110, Kosten Referenzbelag pro m^2 über eine Laufzeit von 40 Jahren von Fr. 88. Prozentualer Anteil für Betrieb/Unterhalt an den Investitionskosten von je 1%.

- *Kosten Belag: Für die Simulation werden folgende Annahmen getroffen: Kosten pro m² von Fr. 2'000, Lebensdauer von 40 Jahren.*
- *Mietpreis: Annahme Mietpreis pro m² BGF Fr. 155.20.*
- *Mietpreisfaktoren und Schwellenwerte: Annahme einheitlicher Mietpreisfaktor von 0.2% und Schwellenwert von 40 dB(A) Nachtlärm / 50 dB(A) Taglärm (falls Nachtlärm < 50 dB(A)).*
- *Gesundheitskosten: Es werden Gesundheitskosten von Fr. 4'994 beim Nutzen zugeschlagen.*

Den grössten Einfluss auf die Resultate weist die Reduktion der Mietpreisfaktoren auf. Die Senkung der Schwellenwerte vermag die Abnahme der Effizienz und des WTI bei weitem nicht zu kompensieren. Würden diese Anpassungen vorgenommen, müssten die Massnahmen im Vergleich zu heute stärkere Lärmreduktionen vollbringen können, um auf Basis einer Beurteilung mittels WTI insgesamt positiv beurteilt zu werden.

5.5. Berücksichtigung nicht-baulicher Massnahmen

Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Frage, ob und wie nicht-baulichen Massnahmen mit der KN-Methode beurteilt werden könnten. Da sich die Wirkungen von nicht-baulichen Massnahmen nicht auf direkt mit der Lärmreduktion verbundenen Kosten und Nutzen beschränken, müsste die Methode entsprechend angepasst werden.⁶² Erschwerend kommt hinzu, dass keine Standardwerte für die betriebswirtschaftlichen Kosten (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten) zur Verfügung stehen. Diese müssten projektspezifisch erfasst werden.

An der Massnahme Geschwindigkeitsreduktion wird beispielhaft aufgezeigt, welche Kosten und Nutzen entstehen und wie diese in die Beurteilung einbezogen werden könnten. Dabei stellt sich wiederum die grundsätzliche Frage, ob die Wirkungen der Massnahme a) quantifiziert und b) monetarisiert werden können.

Als zentrale Herausforderungen können die Quantifizierung der Lärmwirkung von Tempo 30 Massnahmen, die Abbildung und Bewertung von Auswirkungen von Geschwindigkeitsreduktionen auf Reisezeitveränderungen und die gesamthafte Beurteilung einer Massnahme unter Berücksichtigung verschiedener, auch qualitativer Indikatoren herausgestrichen werden

⁶² Dies könnte bedeuten, dass zusätzliche Nutzen und Kosten ausserhalb des Berechnungsmoduls geschätzt und anschliessend in die Kalkulation / Beurteilung einbezogen werden.

Insgesamt erscheint die Beurteilung von nicht-baulichen Massnahmen generell und von Geschwindigkeitsreduktionen speziell mit der bestehenden KN-Methode nicht möglich. Die Methode müsste grundlegend überarbeitet werden.

6. Empfehlungen

Tabelle 24: Übersicht Empfehlungen

Frage	Problem	Lösung	Empfehlung aus Sicht des Beraters
Allgemein			
Effizienz	<p>Auf der Kostenseite werden nur betriebswirtschaftliche Kosten „monetär“ berücksichtigt. Volkswirtschaftliche Kosten werden, sofern sie auftreten, nur qualitativ als zusätzliche Indikatoren aufgenommen. Falls Zusatznutzungen, werden Kosten abgegrenzt, damit nur die der Nutzung „Lärmschutz“ zuzuschreibenden Kosten berücksichtigt werden.</p> <p>Auf der Nutzenseite wird nur der volkswirtschaftliche Nutzen aufgrund der Lärmreduktion berücksichtigt. Weitere Nutzen werden nicht berücksichtigt.</p>	<p>Anpassung der KN-Methode, damit Nutzen und Kosten möglichst umfassend berücksichtigt werden können (mehr „Flexibilität“). Soweit möglich, Wirkungen (Kosten und Nutzen) quantifizieren und monetarisieren (bspw. Zeit- und Unfallkosten).</p> <p>Falls Quantifizierung nicht möglich: qualitative Berücksichtigung der Wirkung über zusätzlichen Indikator.</p> <p>Falls Monetarisierung nicht möglich: quantitative Berücksichtigung der Wirkung über zusätzlichen Indikator.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Möglichkeit vorsehen, weitere volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen zu berücksichtigen. Dabei können die Berechnungen von Kosten und Nutzen auch ausserhalb des Berechnungsmoduls zur KN-Methode erfolgen. Die Methode hat allerdings Grundsätze festzuhalten, wie diese Berechnungen zu erfolgen haben und welchen Qualitätskriterien sie genügen müssen. ➔ Möglichkeit vorsehen, Effekte, die nicht quantifiziert und/oder monetarisiert werden können, als zusätzliche Indikatoren zu berücksichtigen. ➔ Qualitätskriterien für Mengen- und Wertegerüst definieren (falls Kriterien nicht erfüllt werden: Indikator darf nicht, nur qualitativ oder quantitativ berücksichtigt werden)

Frage	Problem	Lösung	Empfehlung aus Sicht des Beraters
Effektivität	Die Effektivität wird über die Gebäudefläche abgebildet. Sofern lärmbedingte Gesundheitskosten ebenfalls berücksichtigt werden, kann die Effektivität nicht mehr ausschliesslich an der Gebäudefläche festgemacht werden, da sich die Gesundheitskosten auf die Anzahl lärmbelasteter Personen bezieht.	Neben der Gebäudefläche können auch die Anzahl Personen zur Berechnung der Effektivität benutzt werden.	➔ Berechnung von zwei Indikatoren für die Effektivität: Gebäudefläche und Anzahl Personen über Grenzwert gemäss LSV.
Effektivität / Beurteilung mittels WTI	Zur Interessenabwägung wird neben der Effizienz auch die Effektivität (Zielerreichungsgrad) einbezogen. Einbezug mittels Index der wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI). Dabei treten spezifische Probleme auf (vgl. Beispiel unten, <i>Einfluss hoher Häuser auf Effektivität</i>). Grundsätzlich: Es besteht die Möglichkeit, dass effiziente Massnahmen ($NK \geq 1$) aufgrund einer tiefen Effektivität abgelehnt werden, obwohl die Massnahme Menschen vor Lärm schützen könnte.	Einfluss der Effektivität auf das Gesamtergebnis einschränken. Es ist zu überlegen, ob ganz auf WTI verzichtet wird und die Effektivität nur als zusätzlicher Indikator berücksichtigt wird.	➔ Verzicht auf Berechnung des WTI. ➔ Effizienz als eigenständiger Indikator in der Beurteilung berücksichtigen (wie weitere Indikatoren, die bspw. den Einfluss auf das Ortsbild abbilden)
Einfluss hoher Häuser auf Effektivität	Bei Hochhäusern im Nahbereich eines Verkehrsträgers sinkt die Effektivität von Lärmschutzwänden rapide, da meist nur ca. 2 Stockwerke geschützt werden können. Damit werden Massnahmen verhindert, die eigentlich für die unteren beiden Stockwerke eine sinn- und wirkungsvolle Lösung darstellen.	Nur die Nutzungen in den Etagen berücksichtigen, die vernünftigerweise mit einer Lärmschutzwand geschützt werden können. Falls die Effektivität nur noch als zusätzlicher Indikator berücksichtigt wird (s.o.), würde diese Anpassung hinfällig.	➔ Vorausgesetzt die Beurteilung mittels WTI wird beibehalten: Bei den WTI-Berechnungen nur die untersten 2 (ev. 3) Stockwerke berücksichtigen.
Kosten			

Frage	Problem	Lösung	Empfehlung aus Sicht des Beraters
Differenzierung Kosten Lärmschutzwand	<p>Die Zusammenstellung der Kosten aus drei Kantonen , einer Stadt, ASTRA und BAV zeigen, dass die Kosten stark abhängen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fläche der Wand - Städtisch /ländlich - Material (Glas) <p>Keine eindeutige Abhängigkeit konnte bei der Art des Fundaments festgestellt werden.</p>	<p>Differenzieren der Kosten nach</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fläche der Wand - Städtisch /ländlich - Material (Glas) 	<p>Eine Differenzierung ist heikel, da sich Abgrenzungsprobleme stellen. Zudem sind in der Planungsphase zu wenige Erkenntnisse über die Art der Wand vorhanden.</p> <p>➔ Keine Differenzierung der Kosten, auch bisherige Unterscheidung bei Fundamenten weglassen.</p>
Mittlere Kosten Lärmschutzwand	<p>Eine Differenzierung der Kosten nach den obenstehenden Kriterien ist schwierig und praktisch nicht umsetzbar. Die effektiven Kosten streuen in einem grossen Bereich. Es besteht die Gefahr, dass bei zu hohem mittleren Ansatz einfache, kostengünstige Lärmschutzwände nicht gebaut würden, obwohl sie die Anforderungen an den WTI erfüllen würden. Bei zu tiefem Ansatz würde eine Vielzahl von Lärmschutzwänden projektiert, aber nach der Projektierung aus Kostengründen wieder verworfen.</p>	<p>Eine Festlegung eines mittleren Ansatzes führt in jedem Fall zu fehlerhaften Beurteilung in einzelnen Fällen. Wird er hoch bei ca. 2'000 Fr./m² festgelegt, ist dies für eine Vielzahl von Wänden in Agglomerationsgebieten gut, aber zu hoch für ländliche Gebiete und Nationalstrassen.</p>	<p>➔ Festlegung bei 2'000.- Fr./m², aber die Kantone sollen die Möglichkeit haben, aufgrund ihrer eigenen Erfahrungen davon abweichen zu können.</p>
Belagskosten	<p>Über die Lebensdauer der Beläge, die für die Kosten massgebend sind, liegen noch zu wenig breit abgestützte Erkenntnisse vor.</p>	<p>Die Kosten für lärmarme Beläge sind durch die Kantone systematisch zu erfassen, damit mittelfristig eine bessere Datenbasis zur Verfügung steht</p>	<p>➔ Die Kosten sind wie folgt einzusetzen: SDA8: 0.60 Fr. pro m2 und Jahr SDA4: 3.30 Fr. pro m2 und Jahr</p>

Frage	Problem	Lösung	Empfehlung aus Sicht des Beraters
Kosten für Betrieb und Unterhalt	Die heutigen Lärmschutzwände sind für eine unterhaltsfreie Lebensdauer von 40 Jahren ausgelegt. Einzig für die Fläche zwischen Wand und Strasse fallen je nach Bepflanzung Kosten für den Unterhalt an. Kosten für Betrieb und Unterhalt von Belägen sind schwierig zu ermitteln. Entsprechend schwierig ist die Identifikation von Unterschieden in den Betriebs-/Unterhaltskosten.	Es wird von einer einfachen Bepflanzung (Magerwiese o.ä.) ausgegangen.	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Die Kosten können mit 1 % pro Jahr angesetzt werden (wie bisher) ➔ Kein Unterschied von Kosten für Betrieb und Unterhalt zwischen Referenz- und Alternativbelägen.
Kapitalzinssatz	Für die Umrechnung der einmalig anfallenden Investitionskosten in Jahreskosten wird ein Zinssatz von 3% verwendet. Der Wert wurde längere Zeit nicht mehr angepasst. Zudem ist unklar, an welchem Referenzwert sich der Zinssatz ausrichtet.	Der Zinssatz wird aktualisiert. Dabei orientiert sich der Wert an der Rendite von CHF Obligationen der Eidg. (mit Laufzeit von 30 Jahren). Die Laufzeit orientiert sich an der Lebensdauer der Massnahmen. Um zufällige Schwankungen zu vermeiden, wird Durchschnitt der Renditen der letzten 5-10 Jahre gebildet.	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Rendite CHF Obligationen der Eidg. (Laufzeit: 30 Jahre). Durchschnitt über 5-10 Jahre. ➔ Kapitalzinssatz: 1.9%, grundsätzlich jährliche Aktualisierung möglich, allerdings auch längeres Aktualisierungsintervall denkbar (Planungssicherheit)
Nutzen			
Durchschnittlicher Mietpreis	Es wird mit einem mittleren Jahresmietpreis pro m ² BGF von Fr. 150 gerechnet. Der Wert wurde seit längerer Zeit nicht mehr angepasst.	Der mittlere Jahresmietpreis pro m ² BGF wird aktualisiert. Hierfür kann auf die Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) des BFS zurückgegriffen werden. Da die Daten mit einer Verzögerung von rund 2 Jahren zur Verfügung stehen, kann der Wert über den Mietpreisindex des BFS auf das aktuelle Jahr aufdatiert werden.	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Mittlerer Jahresmietpreis Mietwohnungen gemäss GWS (BFS). ➔ Aufdatierung auf aktuelles Jahr mittels Mietpreisindex (BFS). ➔ Keine Differenzierung nach Eigentumsverhältnissen, Nutzung ➔ Keine regionale Differenzierung. ➔ Durchschnittlicher Mietpreis pro m² BGF: Fr. 155.20, grundsätzlich jährliche Aktualisierung möglich, allerdings längeres Aktualisierungsintervall denkbar.

Frage	Problem	Lösung	Empfehlung aus Sicht des Beraters
(Miet-)Preisfaktoren	<p>Mietpreisfaktoren basieren auf alten Studien. Die Werte gelten als hoch. Zudem wird eine Differenzierung nach Lärmklassen vorgenommen.</p> <p>Keine Differenzierungen, u.a. auch nicht nach Lärmquellen (Strasse, Bahn, Luft).</p>	<p>Prüfung und Aktualisierung aufgrund aktueller empirischer Ergebnisse für die Schweiz.</p> <p>Mögliche Differenzierungen: Lärmquelle, Regionen, Eigentumsverhältnisse</p>	<p>Anpassung Mietpreisfaktoren gemäss aktueller empirischer Ergebnisse:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Bedingt Anpassung der Schwellenwerte (vgl. s.u., <i>Schwellenwerte</i>) ➔ Differenzierung nach Lärmquelle (Strasse, Bahn, Luft) ➔ Unterscheidung der Faktoren aufgrund der Eigentumsverhältnisse (Miet- und Eigentumswohnungen). ➔ Zu klären für Mietpreisabschläge: Berücksichtigung der zusätzlichen Kosten bzw. Mindereinnahmen bei Renditeobjekten. ➔ Verzicht auf Abhängigkeit von der Höhe der Lärmbelastung.
Differenzierung nach Nutzung	<p>Neben Wohnflächen werden auch Gewerbe- und Dienstleistungsflächen einbezogen.</p> <p>Keine Evidenz für Mietpreiseffekte bei Gewerbe- und Dienstleistungsnutzungen, v.a. Nachtlärm (das betrifft Wohnnutzung), bei Gewerbe- und Dienstleistungsnutzungen geschlossene Fenster mit entsprechenden Lüftungssystemen.</p>	<p>Nur Wohnnutzung betrachten (da nur diese Nutzung lärmempfindlich).</p> <p>Die entsprechenden Informationen für eine Differenzierung wären in der Praxis aus den Nutzungs- und Zonenbestimmungen zu entnehmen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Für die Monetarisierung von Lärmbelastungen mittels Mietpreisabschlägen nur Wohnnutzung betrachten.

Frage	Problem	Lösung	Empfehlung aus Sicht des Beraters
Lärmbedingte Gesundheitskosten	Lärmbedingte Gesundheitskosten werden nicht berücksichtigt.	Einbezug lärmbedingter Gesundheitskosten. Bedingt allerdings, dass neben den lärmbelasteten Gebäudeflächen auch die Anzahl der lärmbelasteten Personen erfasst werden. Lärmbedingte Gesundheitskosten möglichst umfassend berücksichtigen.	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Integration Wertegerüst (Anzahl/Veränderung lärmbelastete Personen) ➔ Berücksichtigung Schwellenwerte spezifisch für lärmbedingte Gesundheitskosten (vgl. Ausführungen unten, <i>Untergrenze für die Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten</i>) ➔ Bewertung über Kostensätze aus SN 641 828. ➔ Aktualisierung der Kostensätze (Berücksichtigung der aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse)
Untergrenze für die Entstehung volkswirtschaftlicher Kosten (Schwellenwerte)	Schwellenwerte orientieren sich an den Belastungsgrenzwerten der LSV. Schwellenwerte und Mietpreisfaktoren bzw. Kostensätze für lärmbedingte Gesundheitskosten können nicht getrennt voneinander festgelegt werden.	<p>Prüfung und Anpassung aufgrund aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse. Für die Integration der lärmbedingten Gesundheitskosten sind entsprechende Schwellenwerte zu berücksichtigen.</p> <p>Zu prüfen: Berücksichtigung der Lästigkeit des Lärms, Differenzierung nach Verkehrsträger (analog LSV, Bonus/Malus).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Berücksichtigung Schwellenwerte spezifisch für Mietpreisreduktionen und lärmbedingte Gesundheitskosten. ➔ Orientierung an wissenschaftlichen Studien. ➔ Berücksichtigung der Lästigkeit des Lärms; Differenzierung nach Lärmquellen / Verkehrsträger. Sofern möglich auf Grundlage aktueller wissenschaftlicher Ergebnisse, andernfalls Orientierung an LSV (Bonus/Malus) prüfen. ➔ Keine oder angepasste (s.u.) Berücksichtigung der Empfindlichkeitsstufen (ES).

Frage	Problem	Lösung	Empfehlung aus Sicht des Beraters
	<p>Unterscheidung zwischen bestehenden und neuen Anlagen aus Nutzensicht nicht gerechtfertigt. Lärm verursacht unabhängig vom Alter der Gebäude Kosten (für die lärmbeeinträchtigten Personen spielt diese Unterscheidung keine Rolle).</p>	<p>Verzicht auf Unterscheidung zwischen bestehenden und neuen Anlagen. Dies führt aber dazu, dass der Nutzenperimeter bei bestehenden Anlagen ausgedehnt wird. Dies kann in der Praxis zu Problemen führen, da der Untersuchungsperimeter ausgedehnt wird und ein grösserer Aufwand entsteht.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Verzicht auf die Unterscheidung zwischen neuen und bestehenden Anlagen. ➔ Raumplanerische Rahmenbedingungen als zusätzliche Indikatoren in die Gesamtbewertung einbeziehen (allerdings nicht in der KN-Analyse berücksichtigen)
	<p>Wohnzonen in ES III Neben den Wohnzonen in der ES II gibt es Wohnzonen mit Gewerbebeimischungen resp. Wohn-/Gewerbebezonen, die sich bezüglich Nutzung nicht von reinen Wohnzonen unterscheiden. Zudem gibt es Wohnzonen, die wegen Immissionsvorbelastung höher eingestuft worden sind. In all diesen Zonen ist der Nutzen der Lärmschutzmassnahmen nach heutigem Beurteilungsmassstab deutlich weniger hoch als in den Zonen mit ES II.</p>	<p>Zonen mit hauptsächlich Wohnfunktion in der ES III, die keinen starken Eigenlärm aufweisen, wie Zonen der ES II behandeln. Dies sind vor allem Wohnzonen mit nur mässig störendem oder nicht störendem Gewerbe oder Wohnzonen mit Lärmvorbelastung. Es ist zu überlegen, ob auch Zonen mit Wohnfunktion mit höherem Eigenlärm wie Zonen der ES II behandelt werden, da auch hier der Nutzen der Massnahmen für das Wohnen gleich hoch einzustufen ist und sich daraus keine Beschränkung der (internen) Immissionen auf die Belastungsgrenzwerte der ES II ableiten lässt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Zonen der ES III generell wie Zonen der ES II behandeln ➔ Raumplanerische Rahmenbedingungen als zusätzliche Indikatoren in die Gesamtbewertung einbeziehen (allerdings nicht in der KN-Analyse berücksichtigen)
<p>Lage der Häuser bezüglich Verkehrsträger</p>	<p>Für die Beurteilung des Nutzens ist es sehr wesentlich, auf welcher Seite des Gebäudes die Belärmung erfolgt; Erfolgt sie auf der Nordseite, kann die Beeinträchtigung mit der Wahl der Wohnungsgrundrisse und der Nutzungen stark begrenzt werden. Erfolgt sie auf der Südseite, ist eine starke Beeinträchtigung vorhanden.</p>	<p>Unterschiedliche Gewichtung des Nutzens, je nachdem, wo der Verkehrsträger verläuft</p>	<p>Es gibt praktisch keine Angaben, wie sich die Lage bezüglich Verkehrsträger auf die Höhe des Nutzens auswirkt. Zudem ist eine Abgrenzung schwierig und erfordert umfangreiche Regelungen, um anwendungssicher zu sein. ➔ Keine Differenzierung nach Lage des Verkehrsträgers</p>

Frage	Problem	Lösung	Empfehlung aus Sicht des Beraters
Integration nicht-baulicher Massnahmen			
Grundsätzliche Bemerkungen	<p>Keine Standardwerte für die betriebswirtschaftlichen Kosten vorhanden. Es wird wahrscheinlich auch schwierig sein, Standardwerte zu erheben, da sich diese Massnahmen nicht im selben Ausmass „normieren“ lassen wie die bisher berücksichtigten baulichen Massnahmen.</p> <p>Berücksichtigung von zusätzlichen monetarisierten volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen im bestehenden KN-Modell (insbesondere auch im Berechnungsmodul) nicht möglich.</p>	<p>Anpassung der KN-Methode (inkl. Berechnungsmodul), damit zusätzliche Kosten und Nutzen integriert werden können (vgl. Ausführungen zu „Effizienz“).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Das bestehende Modell eignet sich nicht für die Beurteilung von nicht-baulichen Massnahmen. Es bräuchte grundsätzliche Anpassungen (s.u.). ➔ Modell und Berechnungsmodul für den Einbezug von weiteren volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen offen halten („Flexibilität“). ➔ Vgl. Empfehlungen zu „Effizienz“
Geschwindigkeitsreduktionen	<p>Abbildung der Auswirkungen auf die Lärmbelastung über gemittelten Lärmpegel. Charakter des Lärms (insb. Auftreten von Lärmspitzen) werden dabei nicht berücksichtigt (insb. relevant für Tempo 30).</p> <p>Quantifizierung und Monetarisierung von Reisezeitveränderungen und Veränderungen der Verkehrssicherheit (insb. relevant für Autobahnen)</p> <p>Einbezug weiterer Effekte (qualitativ); Gewichtung (sowohl für Autobahnen wie auch für Tempo 30 relevant)</p>	<p>Quantifizierung und Monetarisierung weiterer Effekte.</p> <p>Wahl einer Gewichtung der Indikatoren</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Anregung für zusätzliche Forschung: Werte- und Mengengerüst Lärmspitzen (nicht nur durchschnittlicher Lärmpegel) ➔ Anregung für zusätzliche Forschung: Bewertung von kleinen Reisezeitgewinnen, allgemein Bewertung von Reisezeitgewinnen.

Literaturverzeichnis

- Abrantes, P.A.L. and Wardman, M.R. (2011). Meta-Analysis of UK Values of Travel Time: An Update. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(1), 1-17.
- ASTRA & BAFU (2007a). Grundsätze für die Anwendung von SRU 301 und UV-0609. Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung – Stand: Dezember 2006. Anhang 4a, Version: 18.12.2007.
- ASTRA & BAFU (2007b). Benutzer-Handbuch für WT-Excel-Tool UV-0637. Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung – Stand: Dezember 2006. Anhang 4c, Version: 18.12.2007.
- ASTRA (2003). NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte. Ein Instrument zur Beurteilung von Strasseninfrastrukturprojekten unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsziele. Methodenbericht.
- Austroroads (2011) Small travel time savings: Treatment in project evaluations, Austroroads Project No. TP1444.
- Axhausen, K. W., Glemser, A., Jödden, C., Sauer, A., Ehreke, I., Hess, S., Nagel, K., Weis, C. (2015). Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011.
- bfu (2008). Geschwindigkeit. Faktenblatt im Auftrag des Fonds für Verkehrssicherheit (FVS).
- Bichsel, M. und Muff, W. (2006). Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Optimierung der Interessenabwägung. Umwelt-Vollzug Nr. 0609. Bundesamt für Umwelt.
- Bründl, M. (Ed) (2009). Risikokzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT. Bern.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016) Bundesverkehrswegeplan 2030, Entwurf März 2016. Berlin.
- Conference of European Directors of Roads (2017). State of the art in managing road traffic noise: cost-benefit analysis and cost-effectiveness analysis. CEDR Technical Report 2017-03.
- Department of Communities and Local Government DCLG (2009). Multi-criteria analysis: a manual. Online verfügbar über (zuletzt konsultiert:

11.05.2017): <https://www.gov.uk/government/publications/multi-criteria-analysis-manual-for-making-government-policy>.

Ecoplan & Transitec (2015). Auswirkungen der Geschwindigkeitsreduktion Rheineck – St. Margrethen. Gutachten zuhanden des Bundesamts für Strassen. (Anwendung von NISTRA für Beurteilung Notwendigkeit, Zweck- und Verhältnismässigkeit Temporeduktion auf Autobahn)

Ecoplan & Infras (2014). Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Studie im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung ARE.

Ecoplan (2010). Handbuch eNISTRA. 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. Handbuch für die Version eNISTRA 2010.1.

Ecolpan & Infras (2008). Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Brandbreiten. Studie im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung ARE und des Bundesamt für Umwelt BAFU. Bern.

Ecoplan (2007). Externe Kosten im Strassenverkehr. Grundlagen für die Durchführung einer Kosten-Nutzen Analyse. Forschungsauftrag 2005/2004 der Strassen und Verkehrsfachleute (VSS).

Ecolpan & Metron (2005). Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Forschungsauftrag VSS 2000/342 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS).

Ecoplan, Planteam, IHA-ETH (Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie) (2004). Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung, des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft sowie des Bundesamts für Gesundheit. Bern.

Egger, M., Roth, G., Bayer, R. und Fahrländer, K.L. (1998). Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 301. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

- Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung EKLK (2015). Tempo 30 als Lärmschutzmassnahme: Grundlagenpapier zu Recht – Akustik – Wirkung, Bern.
- European Network of the Heads of Environment Protection Agencies (EPA Network) (2016). Decision and cost/benefit methods for noise abatement measures in Europe. M+P.BAFU.15.02.1.
- Fahrländer Partner (2014). Lärm und Renditeliegenschaften. Untersuchung des Lärmeinflusses auf Renditeliegenschaften (Wohnen, Büro, Verkauf, Gastronomie). Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU).
- Fahrländer Partner (2013). Berechnungsmodell für die LAN. Bericht zu den Arbeitsschritten 1, 2 und 3. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU).
- Gemeinde Köniz / Tiefbauamt des Kantons Bern (2010): Zufrieden mit dem neuen Zentrum? Erfolgskontrollen Zentrumsumgestaltung Köniz und Umgestaltung Köniz-/Schwarzenburgstrasse, 2. Auflage.
- Höfler, F. (1994). Leistungsfähigkeit von Ortsdurchfahrten bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen - untersucht mit Hilfe der Simulation. Schriftenreihe. Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe (TH). 50.
- KGV Präventionsstiftung (2014). Prevent-Building – eine Methodik und ein Werkzeug zur Beurteilung der Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit und Zumutbarkeit von Objektschutzmassnahmen an Gebäuden gegen gravitative und meteorologische Naturgefahren. Bericht Phase 1 mit Anpassungen aus Phase 2. Version 12.05.2014 (basiert auf Version 06.11.2012).
- Kägi Wolfram, Liechti David., Lobsiger Michael, Rheinberger Christoph., Schläpfer Felix und Soguel Nils (2015). Monetarisierung des statistischen Lebens im Strassenverkehr, Forschungsprojekt VSS 2011/104 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen und Verkehrsfachleute (VSS), Bericht Nr. 1523. (<http://www.mobilityplatform.ch/>).
- Kobi, F. (2015). Kapazität von Strassen des Basisnetzes. In: Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten SVI, "Optimale Geschwindigkeiten in Siedlungsgebieten", Tagungsband, S.194ff.
- Obermeyer, A., & Evangelinos, C. (2014). Die Theorie der Zeitallokation und die empirische Reisezeitbewertung. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 85(1), 56-81.
- Schreckenber, D., Wothge, J., Möhler, U. & Guski, R. (2016). Belästigungswirkung der Kombination von Fluglärm mit Straßen- oder Schienenverkehrs-

lärm – Eine Untersuchung im Rahmen des NORAH- Forschungsverbundprojekts. Fortschritte der Akustik – DAGA 2016.

Small, K. (2012). Valuation of Travel Time. *Economics of Transportation*, 1(1), 2-14.

Verwaltungspraxis der Bundesbehörden VPB 65.87 (2000). Entscheid des Bundesrates vom 27. November 2000, Kantonal verfügte tiefere Geschwindigkeitslimiten wegen übermässiger Umweltbelastung.

WHO (2011). Burden of disease from environmental noise. Qualification of healthy life years lost in Europe. Kopenhagen.

WHO (2009). Night Noise Guidelines for Europe.

ZKB (2012). Wie Lage und Umweltqualität die Eigenheimpreise bestimmen. Hedonisches Modell für Stockwerkeigentum. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Zürich.

ZKB (2011). Ruhe bitte! Wie Lage und Umweltqualität die Schweizer Mieten bestimmen. Studie in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt. Zürich.