



Anpassung und Vereinfachung des WT-Indexes

Untersuchung zur wirtschaftlichen Tragbarkeit von Lärm-
schutzmassnahmen

Ihre Kontaktperson: Adam Hasenfratz
adam.hasenfratz@grolimund-partner.ch, D 031 356 32 20

Bundesamt für Umwelt
A5708
26. Mai 2021

Impressum

Projektteam

Adam Hasenfratz
Andreas Schlupe
Christoph Ammann

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	11.09.2020	ah	Vereinfachung WTI	BAFU
V 1.1	26.05.2021	ah	Ergänzung Bericht insb. Kap 6–8	BAFU

A5708_Bericht_Anpassung-und-Vereinfachung-des-WTI_20200526.docx

26. Mai 2021

Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit und wirtschaftlichen Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen werden für die Berechnung des WT-Indexes (WTI) seit zwei Jahrzehnten die Effizienz (Verhältnis Nutzen/Kosten) und die Effektivität (Zielerreichung der gesetzlichen Vorgaben) als Beurteilungskriterien benutzt. In den letzten Jahren hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) zwei Studien durchführen lassen, welche zum Schluss gekommen sind, dass Anpassungsbedarf bei der Methodik besteht. Der ausgearbeitete Vorschlag sieht grundlegende Anpassungen auf der Nutzen- und Kostenseite, und bei der WTI-Berechnung vor. Aus der Begleitgruppe bestehend aus Vertretern der öffentlichen Hand erfolgte die Rückmeldung, dass mit den vorgeschlagenen Anpassungen die Methode eher komplexer wird. Im Auftrag des BAFU wurde der Anpassungsvorschlag der Vorstudien zu einer vollzugstauglichen Methode weiterentwickelt, mit dem primären Ziel der Vereinfachung der Methodik im Vergleich zu den Vorstudien. Um die Auswirkungen der Anpassungen auf den WTI zu prüfen, wurden im Rahmen dieser Studie über 150 WTI-Berechnungen von Lärmschutzmassnahmen für bestehende Anlagen, die in den letzten 10 Jahren durch G+P AG durchgeführt wurden, analysiert. Diese umfassen unterschiedliche Massnahmen aus der gesamten Schweiz, die ursprünglich im Auftrag der öffentlichen Hand erarbeitet wurden.

Anhand der Ergebnisse empfiehlt diese Studie u.a. folgende Anpassungen und Vereinfachungen für die neue WTI-Methodik im Vergleich zum Vorschlag:

- Aktualisierung der Parameter auf der Nutzenseite (prozentuale Mietzinsreduktion).
- Identische Schadensuntergrenzen für Mietzins- und Gesundheitsnutzen, wobei sie im Schweizer Lärmass definiert werden (45 dBA tags / 40 dBA nachts).
- Die Kosten für neue Lärmschutzwände sollen standardmässig auf Fr. 1'500.- (mittlere Kategorie) pro m² festgelegt werden, wobei Abweichungen in begründeten Fällen möglich sind.
- Wirkungsabhängige horizontale und vertikale Beschränkung des Untersuchungsperimeters (>1 dBA).

Geprüft wurde zudem ein zweistufiges Vorgehen bei der Berechnung des WTI mit dem Ziel, den Aufwand für den Anwender zu reduzieren. Aufgrund von Rückmeldungen aus der Begleitgruppe wurde entschieden, für das Gewerbe den Mietzinsnutzen nicht mehr zu berücksichtigen, und bei bestehenden Anlagen im Sinne der Vereinfachung die 2. Stufe gänzlich wegzulassen. Auf Basis der Ergebnisse der Hauptuntersuchungsphase und der Rückmeldungen der Begleitgruppe wurde das WTI-Excel-Tool angepasst und den Teilnehmern der Testphase zur Verfügung gestellt.

Die über 150 Beispiele, die für die Testphase durch 6 Teilnehmer seitens von Behörden, der SBB und zwei privaten Ingenieurbüros berechnet wurden, zeigen ähnliche Tendenzen, wie die Ergebnisse der Hauptuntersuchung. Der Anteil der untersuchten WTI-Beispiele mit genügender Beurteilung für die bestehende und neue Methodik ist für alle Beispiele der Hauptuntersuchung und der Testphase fast gleich hoch, aber nicht deckungsgleich. Für ca. 85% der Beispiele fällt die Beurteilung gleich aus, wobei je ca. 8% der Beispiele neu als genügend (WTI > 1) bzw. ungenügend (WTI < 1) beurteilt werden. Die Gründe für eine neu ungenügende bzw. genügende Beurteilung sind oft ein dominierender Anteil an Liegenschaften in der Empfindlichkeitsstufe ES II oder ES III, und eine teilweise damit verbundene Bebauungsstruktur. Bei fast allen Beispielen mit neu ungenügenden Beurteilungen dominieren bspw. ES II-Zonen mit einer eher lockeren Bebauung (eher grosse Wohnfläche/Person), da die neue Methodik diese bei der Schadensberechnung weniger berücksichtigt. Deutlich wird anhand dieser Ergebnisse, dass der Schutz von Personen etwas höher gewichtet wird als für die bestehende Methodik.

Die weiteren Erkenntnisse der Testphase sind, dass der Verzicht auf das zweistufige Vorgehen Sinn macht, da der Einfluss der Perimeterausdehnung einerseits klein ist, der Mehraufwand andererseits kann hoch sein. Zudem weisen Erkenntnisse der Testphase darauf hin, dass es Sinn machen könnte, bei der Vorgehensweise der WTI-Berechnung etwas genauere Vorgaben zu setzen, insbesondere in Bezug auf die Bestimmung der lärmbelasteten Gebäudefläche und den Wohneinheiten.

26. Mai 2021

Inhalt

1. Auftrag.....	5
1.1 Ausgangslage.....	5
1.2 Zielsetzung.....	5
2. Anpassungen an das SRU Nr. 301-Modell.....	6
2.1 Heutiges Modell zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit und Tragbarkeit.....	6
2.2 Bedürfnis zur Revision der Methodik.....	8
2.3 Feedback aus der Begleitgruppe.....	13
3. Durch diese Studie vorgeschlagene Anpassungen und Vereinfachungen.....	15
3.1 Prüfung der Aktualität der Parameter auf der Nutzenseite.....	15
3.2 Vereinfachung der vorgeschlagenen WTI-Methode.....	16
3.3 Auswahl Untersuchungsperimeter.....	19
4. Auswahl an Praxisbeispielen.....	21
5. Untersuchungsergebnisse.....	22
5.1 Abhängigkeiten der Effizienz in der neuen Methodik.....	23
5.2 Vergleich mit bestehender WTI-Methodik.....	24
5.3 Vergleich mit KNF.....	29
5.4 Auswahl Untersuchungsperimeter – Sensitivitätsanalyse.....	31
5.5 Berücksichtigung des Gewerbes.....	35
5.6 Nähere Betrachtung der neu genügenden bzw. ungenügenden Beispiele.....	38
6. Effizienz-Effektivitäts-Diagramm.....	39
6.1 Das neue WTI-Diagramm.....	39
6.2 Nachteile des neuen WTI-Diagramms.....	40
6.3 Alternative zum neuen WTI-Diagramm.....	40
6.4 Vorschlag für ein WTI-Diagramm für Neuanlagen.....	41
7. Testphase.....	42
7.1 Ziel.....	42
7.2 Neues WTI-Excel-Tool.....	43
7.3 Auswahl an Praxisbeispielen.....	44
7.4 Ergebnisse der Testphase.....	45
7.5 Eisenbahnlärm.....	50
7.6 Verzicht zweistufiges Vorgehen bei bestehenden Anlagen.....	52
7.7 Einfluss der Geschäftsliegenschaften.....	53
7.8 Feedback der Testuser.....	54
7.9 Hauptkenntnisse der Testphase.....	57
7.10 Reduktion des Interpretationsspielraums bei der Bestimmung von Geschossfläche/Wohneinheit.....	59
8. Schlussfolgerungen.....	60
Referenzen.....	63
Anhang	
I Fragebogen Testphase.....	64

26. Mai 2021

1. Auftrag

1.1 Ausgangslage

Da das Umweltschutzgesetz (USG) und die Lärmschutz-Verordnung (LSV) die Realisierung von Lärmschutzmassnahmen an die Bedingung knüpfen, dass sie wirtschaftlich tragbar und verhältnismässig sind, stellt sich bei ihrer Projektierung die Frage der Effizienz der eingesetzten finanziellen Mittel. Seit 1998 werden zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit von baulichen Lärmschutzmassnahmen die *Effizienz* (Verhältnis Nutzen/Kosten) und die *Effektivität* (Zielerreichung der gesetzlichen Vorgaben) als Beurteilungskriterien der wirtschaftlichen Tragbarkeit benutzt. Grundlage dazu ist ein in der BAFU-Schriftenreihe Umwelt (SRU) Nr. 301 vorgestelltes, und seither in der Vollzugshilfe UV-0609 aktualisiertes Modell, welches mittels einer Monetarisierung der Lärmbelastungen die wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen beurteilt. Für die Berechnungen des sogenannten WT-Indexes (WTI) wurde ein Excel-basiertes Berechnungsmodul entwickelt.

In den letzten Jahren hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) zwei Studien durchführen lassen, um zu eruieren, wie gross der Anpassungsbedarf für die WTI-Methode ist. Basierend auf einer ersten Studie von B,S,S. und Basler & Hoffman aus dem Jahr 2017 haben ECOPLAN und Sinus AG im nachfolgenden Jahr den Anpassungsbedarf konkretisiert, und die Auswirkungen auf den WTI untersucht. Der ausgearbeitete Vorschlag sieht grundlegende Anpassungen auf der Nutzen- und Kostenseite vor. Die Verwendung von zusätzlichen Standardkostenkategorien für Investitionskosten soll dafür sorgen, dass die tatsächliche Kostenspanne der Massnahmen besser abgedeckt werden als mit den heutigen Standardkategorien. Weiter sind auf der Nutzenseite neben der Mietpreisreduktion auch die gesundheitlichen Kosten mit zu berücksichtigen und alle Inputparameter nach den aktuellen wissenschaftlichen Grundlagen zu wählen. Zudem wird empfohlen, die Schadensuntergrenzen nicht in Abhängigkeit der gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte, sondern auf Grundlage aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse zu wählen, was jedoch zu grösseren Perimetern führt. Damit effiziente Massnahmen immer umgesetzt und nicht durch eine tiefe Effektivität verhindert werden, wird eine Anpassung der WTI-Formel vorgeschlagen.

Aus der Begleitgruppe bestehend aus Vollzugsbehörden erfolgte die Rückmeldung, dass mit den vorgeschlagenen Anpassungen die Methode eher komplexer wird. Primär besteht jedoch der Wunsch, die Anpassungen an die WTI-Methode so durchzuführen, dass ihre Anwendung nicht aufwändiger wird.

1.2 Zielsetzung

Im Auftrag des BAFU soll der Anpassungsvorschlag von ECOPLAN und Sinus AG zu einer vollzugstauglichen Methode weiterentwickelt werden. Dabei stehen folgende Anliegen im Vordergrund:

- Vereinfachung der Methode:
 - Zusammenfassung der Mietpreisreduktion und Gesundheitskosten zu einem Koeffizienten.
 - Klare Kriterien für die Wahl der Kostenansätze von Lärmschutzmassnahmen.
 - Grundsätzliche Vereinfachung der durch die Vorstudien vorgeschlagenen Methodik.
- Identifizierung und Festlegung von Schlüsselfaktoren:
 - Interpretationsspielraum begrenzen (z.B. bei Perimeterwahl).
 - Konkretisierung des stufenweisen Vorgehens bei der Perimeterwahl.
 - Standardkostenkategorien mit Abgrenzungskriterien definieren.
- Überprüfung der wirtschaftlich tragbaren Kostengrenzen des klassischen Kosten-Nutzen-Faktors (KNF; Kosten pro Einwohner und Liegenschaft) auf ihre Aktualität.

26. Mai 2021

- Aktualisierung des Excel-Formulars für die Berechnung des WTI auf Grundlage der entwickelten vollzugstauglichen Methode.
- Begleitung der Testphase und mögliche Anpassungen aufgrund von Rückmeldungen aus der Testphase.

Um die Auswirkungen der Anpassungen auf den WTI zu prüfen, wurden im Rahmen dieser Studie mehr als 150 WTI-Berechnungen realer Lärmschutzmassnahmen, die in den letzten 10 Jahren durch G+P AG durchgeführt wurden, analysiert. Anhand dieser Praxisbeispiele, welche Lärmschutzmassnahmen gegen den Strassen- und Eisenbahnlärm behandeln, wurde die Funktionsweise der neuen Methodik geprüft und verschiedene Szenarien miteinander und mit der bestehenden Methodik verglichen.

Anschliessend wurde auf Basis der Ergebnisse der Untersuchung, und anhand der Inputs des BAFU und der Begleitgruppe, ein Entwurf des WTI-Excel-Tools erstellt, der während der nachfolgenden Testphase benutzt wurde. Mehrere Testuser amtlicher Stellen von Kantonen (Kantone Aargau, Bern und Waadt), das ASTRA (outgesourct an zwei unabhängige Umweltbüros), und die SBB haben mit dem neuen Excel-Tool weitere ca. 150 Praxisbeispiele realer Lärmschutzmassnahmen berechnet.

2. Anpassungen an das SRU Nr. 301-Modell

Bevor in Kap. 2.2 die von den Vorstudien empfohlenen Anpassungen an die Methodik diskutiert werden, soll in Kap. 2.1 das aktuell verwendete Modell vorgestellt werden. Das Kapitel wird durch eine Zusammenfassung der wichtigsten Kritikpunkte der Begleitgruppe zu den empfohlenen Anpassungen abgeschlossen (Kap. 2.3).

2.1 Heutiges Modell zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit und Tragbarkeit

2.1.1 Modell gemäss SRU Nr. 301

Der Kern des Modells SRU Nr. 301, welches in ihren Grundsätzen auch heute noch gültig ist, bildet die Analyse der jährlichen Kosten (Investitionskosten, Betrieb, Unterhalt) und Nutzen der untersuchten Lärmschutzmassnahme. Der Nutzen einer Massnahme definiert sich als sogenannte Lärmkosten, welche durch ihre Umsetzung vermieden werden können. Die Ermittlung des Nutzens erfolgt durch die Differenzbildung zwischen den Lärmkosten mit und ohne Massnahmen. Die Berechnung der Lärmkosten wiederum basiert auf volkswirtschaftlichen Analysen zur verkehrslärmbedingten Mietpreisreduktion.

Das Modell folgt einem zweistufigen Vorgehen. In einem ersten Schritt wird, meist in einem frühen Stadium des Projekts und deshalb unabhängig von konkreten Massnahmen, der maximal mögliche Nutzen im Immissionsbereich der Lärmquelle ermittelt, der sich theoretisch durch Massnahmen erzielen lässt. Der Fokus dieser Arbeit lag auf dem zweiten Schritt, in dem für konkrete Massnahmen eine Interessenabwägung anhand der Effizienz und Effektivität von Lärmschutzmassnahmen erfolgt. Die Kriterien Effizienz und Effektivität werden in einem Effizienz-Effektivitäts-Diagramm gegenübergestellt, wobei die Beurteilung anhand von Empfehlungen im Sinne einer Interessensabwägung erfolgt (Abb. 1):

- **Effizienz:** Verhältnis zwischen dem Nutzen (vermiedene Lärmkosten) und Kosten der Massnahme.
- **Effektivität:** Zielerreichungsgrad hinsichtlich der Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte bei Gebäuden im Immissionsbereich.
- **Beurteilung:** Die Beurteilung im ursprünglichen Modell erfolgte anhand des Effizienz-Effektivitäts-Diagramms, woraus nach einem Ampelschema drei Empfehlungen abgeleitet werden konnten (*Realisierung empfohlen*, *Realisierung näher untersuchen* und *Realisierung nicht empfohlen*). Eine

26. Mai 2021

Massnahme, welche unabhängig der Kosten eine Effektivität von 100% aufwies, oder für welche unabhängig der Effektivität der Nutzen 1.5-mal grösser war als die Kosten, wurde zur Realisierung empfohlen.

Zusätzlich müssen bei der Beurteilung öffentliche Interessen berücksichtigt werden, die sich jedoch nicht nach wirtschaftlichen Kriterien erfassen lassen, sondern sich an qualitativen Kriterien orientieren. Die Methode eignet sich vor allem für bauliche Massnahmen, bei welchem sich die Wirkung monetarisieren lässt.

2.1.2 Anpassungen des Modells gemäss UV-0609

In der Vollzugspraxis ergaben sich in der Folge teilweise unklare Beurteilungen, da sie im Effizienz-Effektivitäts-Diagramm oft in den Bereich «Realisierung näher untersuchen» fielen (s. Abb. 1a). Kritisiert wurde zudem die Unübersichtlichkeit des Diagramms beim Vergleich von mehreren Massnahmen, da jeweils pro Variante zwei Kennzahlen (Effizienz und Effektivität) in die Beurteilung mit hineinfiessen.

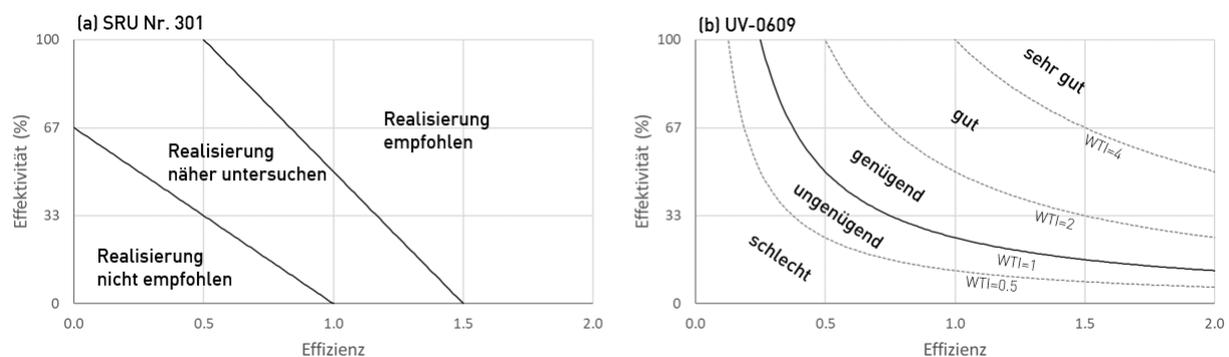


Abb. 1: Vergleich des Effizienz-Effektivitäts-Diagramms nach (a) SRU Nr. 301 und nach (b) UV-0609 (rechts).

Um die Aussagekraft der Beurteilungen zu erhöhen und ihre Vergleichbarkeit sicherstellen zu können, wurden vom BAFU im Zuge der Veröffentlichung des Leitfadens Strassenlärm im Jahr 2006 Anpassungen zur Publikation der SRU Nr. 301 vorgestellt. Dabei wurden einige Einschränkungen und Modifikationen für ihre Anwendung in einer Vollzugshilfe (Umwelt-Vollzug Nr. 0609) festgelegt.

Gemäss dieser Vollzugshilfe erfolgt die Beurteilung mit einer neuen Methode über den *WT-Index* (WTI) als Einzahlkennwert, welcher angibt, ob die Lärmschutzmassnahme verhältnismässig ist oder nicht. Bei der Erarbeitung der neuen WTI-Formel ging es insbesondere auch darum, eine Methodik zu erarbeiten, welche die bis dahin realisierten, und subjektiv als sinnvoll beurteilten Lärmschutzmassnahmen bestätigt. Die WTI-Kurven sind in Abb. 1b ersichtlich und basieren auf der nachfolgenden WTI-Formel:

$$WTI = \text{Effizienz} \cdot \frac{\text{Effektivität}}{25} \quad (1)$$

Die Beurteilung des WTI erfolgt differenziert für 5 Klassen, und reicht von «schlecht» (<0.5) bis «sehr gut» (>4). Ist der WTI grösser oder gleich 1, so ist die Massnahme verhältnismässig und entsprechend umzusetzen, sofern keine weiteren öffentlichen Interessen dagegensprechen. Die Grenze für eine Beurteilung als «genügend» (d.h. WTI>1) wurde definiert basierend auf empirischen Daten und dem folgenden theoretischen Ansatz: Für eine genügende und deshalb zur Umsetzung empfohlene Massnahme dürfen bei einer Effektivität von 100% die Kosten 4-mal höher sein als der Nutzen und bei einer Effektivität von 25% die Kosten gleich hoch sein wie der Nutzen.

26. Mai 2021

Im Anhang 4a des Leitfadens Strassenlärm wurden dabei die Anwendungs-Grundsätze von SRU 301 und UV-0609 festgehalten. Gemäss diesem Leitfaden soll die WTI-Berechnung nur bei grösseren Projekten mit Investitionskosten >Fr. 500'000.- durchgeführt werden, und ansonsten die Beurteilung anhand des weniger komplexen Kosten-Nutzen-Faktors (KNF) ermittelt werden (s. Kap. 5.3). Nach mehrjähriger Anwendung in der Praxis hat das Bundesamt für Strassen (ASTRA) im Fachhandbuch Trasse/Umwelt (T/U) ein Merkblatt veröffentlicht, welches die Methode für Nationalstrassen präzisiert. Dabei werden einige Aspekte detaillierter als im Anhang 4 des Leitfadens Strassenlärm beschrieben.

Bis heute wird die WTI-Methode bei grösseren Projekten regelmässig als Instrument zur Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit von baulichen Lärmschutzmassnahmen von Ingenieurbüros und verschiedenen Infrastruktur-Eigentümern der öffentlichen Hand angewendet. Die Methode wird insbesondere entlang von Gemeinde-, Kantons- und Nationalstrassen sowie Bahnanlagen eingesetzt.

2.2 Bedürfnis zur Revision der Methodik

2017 hat das BAFU eine Studie durch B,S,S. und Basler & Hofmann (fortan *BSS und B&H (2017)*) durchführen lassen, um abzuklären, ob der WTI noch den aktuellen wissenschaftlichen Grundlagen entspricht. Insbesondere lag der Fokus auf der Integration der gesundheitlichen Kosten in die Nutzenanalyse und auf der Prüfung der vorgegebenen Parameter für die Kosten-Nutzen-Analyse. Die Studienverfasser sind zum Schluss gekommen, dass Anpassungen bezüglich der Quantifizierung des Nutzens, der Kosten und dem WTI als solches angebracht sind.

Im Jahr 2018 wurde in einem Anschlussauftrag durch ECOPLAN und Sinus AG (fortan *Ecoplan und Sinus (2018)*) der Anpassungsbedarf weiter konkretisiert, die Auswirkungen dieser Anpassungen auf den WTI quantifiziert und eine Abschätzung abgegeben, was dies für den Vollzug bedeuten könnte. Da die vorliegende Untersuchung auf Grundlage dieser Ergebnisse erfolgt, werden die wichtigsten Erkenntnisse dieser Studie, welche in weiten Teilen auf der Publikation von BSS und B&H (2018) basiert, kurz vorgestellt.

2.2.1 Empfohlene Anpassungen für den Mietzinsnutzen

Der Mietzinsnutzen wird für Gebäude im Untersuchungsperimeter durch die Differenz zwischen den Lärmkosten ohne und mit Massnahme ermittelt. Die Lärmkosten durch die lärmbedingte Reduktion des Mietzinses werden für jedes Gebäude separat und (je nach Lage des Gebäudes) geschoss- oder sogar fassadenscharf berechnet, und in einem folgenden Schritt über den ganzen Perimeter aufaddiert. Diese volkswirtschaftlichen Lärmkosten VK_{Miete} werden, sowohl in der ursprünglichen als auch in der neu vorgeschlagenen Methodik berechnet mittels

$$VK_{Miete} = BGF \cdot g_{Miete} \cdot f \cdot k_{Miete} \quad [2]$$

wobei in der neuen Methodik BGF für die Bruttogeschossfläche (m^2) des untersuchten Gebäudes steht, g_{Miete} für die maximale Überschreitung der Schadensuntergrenze (dBA; entweder Tag oder Nacht), f für die Mietpreisreduktion pro dBA über der Schadensuntergrenze (Dezimal, und nicht Prozentzahl) und k_{Miete} für die durchschnittlichen Mietkosten (Fr. pro Jahr und m^2).

26. Mai 2021

Die nachfolgende Auflistung fasst die empfohlenen Anpassungen für den Mietzinsnutzen zusammen und setzt sie in Relation zur bestehenden Methodik.

▪ **Schadensuntergrenze (in dBA):**

- Die bestehende Methodik berücksichtigt mietzinsbedingte Lärmkosten in Abhängigkeit der gesetzlichen Grenzwerte der LSV, d.h. IGW-5 dBA bei bestehenden Anlagen und PW-5 dBA bei Neuanlagen.
- Die empfohlene Methodik berücksichtigt Lärmkosten über einer Schadensuntergrenze von 50 dBA tags / 40 dBA nachts, unabhängig der Empfindlichkeitsstufe der berücksichtigten Gebäude und ob das Projekt eine bestehende oder neue Anlage ist. Gemäss einer Studie von ZKB (2012) können diese Schadensuntergrenzen die Mietzinsverluste durch Lärm am besten erklären.

▪ **Mietpreisreduktion f (in % pro dBA über Schadensuntergrenze):**

- Die bestehende Methodik differenziert nach vier verschiedenen Lärmklassen (0.8–1.0%), welche abhängig sind von den Grenzwerten der LSV.
- Die Vorstudien empfehlen die in der Studie von ZKB (2012) ermittelten 0.25% für Strassenlärm und 0.27% für Eisenbahnlärm, unabhängig der Lärmklasse. Die Berechnung der Lärmkosten wird so übersichtlicher.

▪ **Durchschnittliche Mietkosten k_{Miete} (Fr. pro Jahr und m^2):**

- Die bestehende Methodik basiert auf Mietkosten von Fr. 150.- pro Jahr und m^2 , und ist unabhängig des untersuchten Gebiets. Diese Kosten wurden im Jahr 2008 im Rahmen der Anpassungen gemäss UV-0609 festgelegt. Sie basieren auf einer Hochrechnung der in der ursprünglichen Methode SRU Nr. 301 festgelegten Fr. 127.40.- (1995) anhand der Veränderung des Landesindex für Konsumentenpreise (LIK) für Wohnungsmieten.
- Die von den Vorstudien empfohlene Methodik geht von Kosten von Fr. 157.- pro Jahr und m^2 aus. Sie basiert auf Berechnungen von BSS und B&H (2018) für das Jahr 2016 und wurde auf das Jahr 2017 hochgerechnet.

2.2.2 Einbezug des Gesundheitsnutzen

Verkehrslärm hat nicht nur Auswirkungen auf den Wertverlust von Immobilien, sondern auch gesundheitliche Auswirkungen, wie ischämische Herzkrankheiten, Herzinfarkt sowie bluthochdruckbedingte Krankheiten. In der bestehenden Methode fliessen die verkehrslärmbedingten Gesundheitskosten nicht in die Berechnung des WTI ein. Beide Vorstudien empfehlen auf Basis der wissenschaftlichen Erkenntnisse der letzten Jahre, auf der Nutzenseite den Mietzinsnutzen mit dem Gesundheitsnutzen zu ergänzen. Die neue WTI-Methodik berücksichtigt deshalb konsequenterweise sowohl die Wohnfläche als auch die Anzahl Personen, und ist demzufolge eine Mischvariante zwischen dem bestehenden WTI (Nutzen abhängig von der Fläche) und dem KNF (Nutzen abhängig von Personen).

Der Gesundheitsnutzen für den gesamten Untersuchungsperimeter wird analog zum Mietzinsnutzen ermittelt. Die durch Gesundheitsschäden verursachten volkswirtschaftlichen Lärmkosten $VK_{Gesundheit}$ ergeben sich aus dem Produkt der maximalen Überschreitung der Schadensuntergrenze $g_{Gesundheit}$ (dBA; entweder Tag oder Nacht), der Anzahl Personen p (standardmässig 3 Personen pro Wohneinheit), und der durchschnittlichen Gesundheitskosten $k_{Gesundheit}$ (Fr. pro dBA und Person):

$$VK_{Gesundheit} = g_{Gesundheit} \cdot p \cdot k_{Gesundheit} \quad (3)$$

Die folgende Auflistung fasst die empfohlenen Annahmen zusammen:

26. Mai 2021

- **Schadensuntergrenze (in dBA):** Anhand aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse hat BSS und BH (2017) 48 dBA L_{den}^1 als Schadensuntergrenze definiert.
- **Durchschnittliche Gesundheitskosten $k_{Gesundheit}$ (Fr. pro dBA und Person):** Der vorgeschlagene durchschnittliche Kostensatz von Fr. 15.80.- pro dBA und Person über 48 L_{den} basiert auf verschiedenen Verkehrsträgern und Krankheiten.

2.2.3 Empfohlene Anpassungen auf der Kostenseite

In den Vorstudien wurden alle Annahmen auf der Kostenseite auf ihre Aktualität geprüft. Für die Analyse des potenziellen Anpassungsbedarfs wurde von ECOPLAN und Sinus (2018) eine Umfrage unter den Kantonen zu den Kosten von realen Projekten durchgeführt, dessen Ergebnisse sich folgendermassen zusammenfassen lassen:

- **Investitionskosten Lärmschutzwände:** Die durchschnittlichen Kosten der ca. 100 Lärmschutzwände belaufen sich auf ca. Fr. 1'600±900.- pro m^2 . Mit den beiden bestehenden Vorgabewerten von Fr. 900.- pro m^2 (einfache Ausführung) und Fr. 1'700.- pro m^2 (komplexe Ausführung) und einer Kostenbandbreite für diese Standardkosten von jeweils 30% ergibt sich eine Bandbreite von ca. Fr. 630–2'210.- pro m^2 . Etwa 70% der in der Umfrage genannten Projekte sind durch diese Bandbreite abgedeckt.
- **Investitionskosten lärmarme Beläge:** Die durchschnittlichen Kosten der ca. 100 Beläge belaufen sich auf ca. Fr. 46±23.- pro m^2 . Mit dem bestehenden Vorgabewert von Fr. 36.- pro m^2 und einer Kostenbandbreite für diese Standardkosten von 30% ergibt sich eine Bandbreite von ca. Fr. 25–47.- pro m^2 . Nur 40% der in der Umfrage genannten Projekte sind durch diese Bandbreite abgedeckt, wobei die Mehrheit der Beläge teurer ist.
- **Betriebs- und Unterhaltskosten:** Diese belaufen sich für Lärmschutzwände auf durchschnittlich 1.4±0.7%, d.h. im Rahmen der bisherig verwendeten Annahme von 1%. Für die Beläge liegen keine Angaben vor.
- **Lebensdauer:** Die Lebensdauer der Lärmschutzwände beläuft sich durchschnittlich auf 34±8 Jahre, nahe der bisherig verwendeten Annahme von 30 Jahren. Diejenige für die lärmarmen Beläge beläuft sich auf durchschnittlich 13±4 Jahre, nahe der bisherig verwendeten Annahme von 15 Jahren.

Im Folgenden werden nur diejenigen Parameter diskutiert, für welche in der Studie ECOPLAN und Sinus (2018) eine Anpassung gefordert wurde.

- **Investitionskosten Lärmschutzwände (LSW):** Die Analyse durch ECOPLAN und Sinus (2018) hat ergeben, dass die bestehenden Kostenansätze von Fr. 900.- und Fr. 1'700.- pro m^2 nicht reichen, um die Bandbreite an effektiven Kosten zu erklären. Die Studie schlägt stattdessen folgende Alternativen vor:
 - Erweiterung um eine zusätzliche Kategorie (1'500.-; «mittlere Ausführung»), eine Erniedrigung der Kosten für die einfache Ausführung auf Fr. 800.- und eine Erhöhung der Kosten für die komplexe Ausführung auf Fr. 2'800.-. Die Auswahl an 3 Kostenkategorien sollte begleitet werden mit einer Anleitung, wann welcher Kostenansatz zum Einsatz kommen soll.
 - Vollständige Flexibilisierung der Standardkosten hin zu projektspezifischen Grobkostenschätzungen für jede mit dem WTI geprüfte Lärmschutzwand.

¹ Der Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{den} wird berechnet mittels des Durchschnittes aus L_{day} , $L_{evening}$, und L_{night} , wobei $L_{evening}$ und L_{night} mit einem Pegelzuschlag von 5 dBA, resp. 10 dBA belastet werden.

26. Mai 2021

- **Investitionskosten lärmarme Beläge:** Die Analyse durch ECOPLAN und Sinus (2018) hat ergeben, dass die Bandbreite an effektiven Kosten nicht durch den bestehenden Kostenansatz von Fr. 36.- pro m² erfasst werden kann. Die Autoren empfehlen folgende Alternativen:
 - Einführung von drei Kategorien, analog zu den Lärmschutzwänden, von Fr. 30.- (einfach), Fr. 40.- (mittel) und Fr. 50.- (komplex). Die Auswahl sollte begleitet werden mit einer Anleitung, wann welcher Kostenansatz zum Einsatz kommen soll.
 - Vollständige Flexibilisierung der Standardkosten hin zu projektspezifischen Grobkostenschätzungen für jede mit dem WTI geprüften lärmarmen Belag.
- **Kapitalzinssatz:** In der Vorstudie BSS und B&H (2017) wird empfohlen, den Zinssatz von 3.0% auf 1.9% zu verringern, um dem heutigen Zinsumfeld Rechnung zu tragen.

2.2.4 Mehraufwand durch grösseren Untersuchungsperimeter

In der bestehenden WTI-Methodik basiert die Auswahl des Untersuchungsperimeters auf den Belastungsgrenzwerten der LSV. Das Ziel einer Massnahme ist immer, Anwohner von Liegenschaften zu schützen, die von Grenzwert-Überschreitungen betroffen sind. Andererseits wird zur Ermittlung der Effizienz ein um 5 dBA erweiterter Perimeter berücksichtigt (IGW-5 dBA bei bestehenden und PW-5 dBA bei neuen Anlagen), um dem in der USG aufgeführten Vorsorgeprinzip Rechnung zu tragen.

Aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse empfehlen die Vorstudien, die Schadensuntergrenzen für den Mietzinsnutzen zu senken, und nicht mehr zwischen bestehenden und neuen Anlagen zu differenzieren. Der Untersuchungsperimeter entspricht, wie in der bestehenden Methodik, der Schadensuntergrenze des Mietzinsnutzens, und wird deshalb v.a. für bestehende Anlagen und ES III-Gebiete ausgedehnt. Galt in der bestehenden Methodik bspw. bei ES III-Gebieten für die Nachtperiode eine Schadensuntergrenze von 50 dBA (IGW-5 dBA), gilt in der neuen Methodik eine Schadensuntergrenze von 40 dBA (Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich der Schadensuntergrenzen der bestehenden und der neu empfohlenen Methodik für bestehende und neue Anlagen (angelehnt an Abb. 7-8 in ECOPLAN und Sinus (2018)).

	Bestehende Anlage				Neue Anlage			
	ES III		ES II		ES III		ES II	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Bestehende Methodik	60	50	55	45	55	45	50	40
Neue Methodik	50	40	50	40	50	40	50	40
Differenz	10	10	5	5	5	5	0	0

Da sich der Untersuchungsperimeter vergrössert, führt dies gemäss ECOPLAN und Sinus (2018) bei WTI-Berechnungen zu einem Mehraufwand, der sich im Vergleich zur bestehenden Methodik v.a. in Siedlungsgebieten der Empfindlichkeitsstufe ES III verdoppeln bis verdreifachen kann. Deshalb empfehlen ECOPLAN und Sinus (2018) ein zweistufiges Vorgehen, um den Mehraufwand zu begrenzen. In einer ersten Stufe soll die Lärmbelastung bis zu einem Grenzwert von 55 dBA tags bzw. 45 dBA nachts erhoben werden, was der bestehenden Perimeter- und Schadensuntergrenze für ES II-Gebiete entspricht (bestehende Anlage). Liegt der berechnete WTI knapp unter 1, soll gemäss Autoren in einer zweiten Stufe der Perimeter auf die ursprünglich vorgesehenen 50 dBA tags und 40 dBA nachts ausgedehnt werden. Die Autoren empfehlen, «einen Verzicht auf die zweite Stufe gut und transparent zu begründen und dabei eine Sicherheitsmarge festzulegen, um Fehlentscheide möglichst zu vermeiden».

In der Studie von ECOPLAN und Sinus (2018) wurde v.a. anhand von theoretischen Fallbeispielen analysiert, wie sich einerseits der WTI durch die Anwendung der 1. und 2. Stufe unterscheidet. Die Ergebnisse

26. Mai 2021

haben aufgezeigt, dass in den untersuchten theoretischen Fallbeispielen der Nutzen bei der 1. Stufe um ca. 30–50% tiefer ist als in der 2. Stufe. Dies führte jedoch nur in 7% der Fälle dazu, dass die Beurteilung von ungenügend (1. Stufe) zu genügend (2. Stufe) wechselte.

2.2.5 Beurteilung des Effizienz-Effektivitäts-Diagramms

In der bestehenden Methode wird der WTI nach der Formel (1) berechnet, mit dem positiven Effekt, dass wirkungsvolle Massnahmen (hohe Effektivität) auch dann realisiert werden, falls diese rein volkswirtschaftlich betrachtet nicht effizient sind (Nutzen-Kosten-Verhältnis <1). Für eine genügende Massnahme ($WTI > 1$) dürfen bspw. bei einer Effektivität von 100% die Kosten 4-mal höher sein als der Nutzen. Wie im Effizienz-Effektivitäts-Diagramm in Abb. 1a ersichtlich, kann die heutige Methode theoretisch dazu führen, dass Massnahmen mit einer hohen Effizienz aufgrund der geringen Effektivität nicht realisiert werden. Gemäss ECOPLAN und Sinus (2018) macht es aus volkswirtschaftlicher Sicht keinen Sinn, Massnahmen nicht zu realisieren, deren Nutzen gleich oder höher sind als die Kosten.

Mit dem Ziel, dass in Zukunft alle effizienten Massnahmen (d.h. Nutzen-Kosten-Verhältnis ≥ 1) einen genügenden WTI aufweisen, schlägt ECOPLAN und Sinus (2018) eine Anpassung der Formel vor (Abb. 2):

$$WTI = \text{Effizienz} + \text{Effektivität} \cdot 0.75 \quad (4)$$

Durch die Anwendung dieser Formel reichen bei einer Effektivität von 100% ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0.25 für einen genügenden WTI – wie in der bestehenden Methodik. Der Vorteil der neuen Berechnung ist gemäss ECOPLAN und Sinus (2018), dass Massnahmen mit einer Effizienz >1 immer einen genügenden WTI aufweisen. Durch den additiven Zusammenhang zwischen Effizienz und Effektivität kann man die Effektivität auch als «Bonus» interpretieren: Massnahmen mit Effizienz >1 sind immer genügend; Massnahmen mit einer hohen Zielerreichung werden jedoch zusätzlich belohnt, da diese auch eine geringere Effizienz aufweisen dürfen (bis zum erwähnten 1:4 Nutzen-Kosten-Verhältnis bei 100% Effektivität).

Ein wichtiger Unterschied zwischen den beiden Formeln ist der sichelförmige Bereich zwischen der bestehenden «WTI=1»-Kurve und der neuen «WTI=1»-Linie, wo der WTI bei gleichen Ausgangsparametern neu als ungenügend beurteilt wird (roter Bereich). Andererseits weisen Massnahmen mit einer Effizienz >1 (Nutzen höher als Kosten) unabhängig der Effektivität neu einen genügenden WTI auf (grüner Bereich), so dass auch «günstige» Massnahmen als verhältnismässig beurteilt werden, die nicht in der Lage sind die Grenzwerte (überall) einzuhalten (z.B. lärmarme Beläge). Eine weitere Konsequenz ist, dass die neuen WTI-Werte eine geringere Bandbreite aufweisen, d.h. dass WTI-Werte <1 höher, und WTI-Werte >1 tiefer sind als bisher.

26. Mai 2021

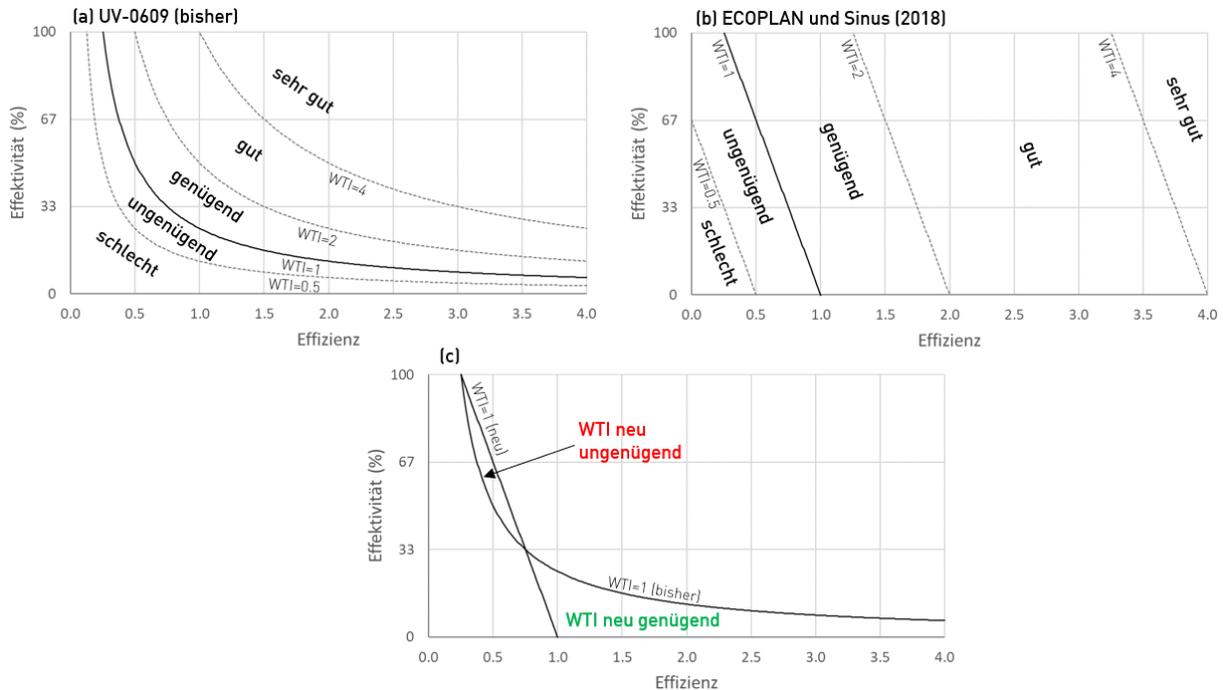


Abb. 2: Vergleich des Effizienz-Effektivitäts-Diagramms nach (a) UV-0609 und gemäss dem (b) neuen Vorschlag von ECOPLAN und Sinus (2018). In (c) wird der Unterschied zwischen der neuen WTI=1-Linie und der bestehenden WTI=1-Kurve besser verdeutlicht.

2.2.6 Berücksichtigung von Geschäftsliegenschaften

Die bestehende Methodik berücksichtigt Geschäftsliegenschaften bezüglich des Nutzens in der Tagperiode (6–22 Uhr) gleich wie Wohnliegenschaften; Geschäftsliegenschaften weisen jedoch aufgrund der Bestimmungen in der LSV eine um 5 dBA höhere Schadensgrenze auf. Die empfohlene Methodik von ECOPLAN und Sinus (2018) berücksichtigt bei der Berechnung der Lärmkosten die Geschäftsliegenschaften nicht, da gemäss neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen der Wert dieser Gebäude unabhängig ist von der Verkehrslärmbelastung (ZKB, 2012). Da jedoch aus Sicht des Lärmschutzes Geschäftsliegenschaften ebenfalls vor Lärm zu schützen sind – auch wenn sie gemäss LSV einen geringeren Schutzanspruch aufweisen – empfiehlt die Studie, diese für das Effektivitätsmass zu berücksichtigen.

2.2.7 Priorisierungsregel WTI

Wie durch die Studie ECOPLAN und Sinus (2018) ausgeführt, existiert in der bestehenden Methodik Interpretationsspielraum bei der Frage, welche Lärmschutzmassnahme bevorzugt behandelt werden soll, falls mehr als eine Variante einen genügenden WTI aufweist (höherer WTI oder höhere Effektivität). Die Autoren empfehlen, immer diejenige Variante zu priorisieren, welche einen höheren WTI aufweist.

2.3 Feedback aus der Begleitgruppe

Die Weiterentwicklung des WTI wird durch eine Begleitgruppe unterstützt, die aus Vertretern der Kantone und dem Bund besteht, welche durch ihre gesammelten Erfahrungen im Vollzug zum Gelingen des Projekts beitragen sollen.

Im Folgenden werden die konkreten Kritikpunkte an den Vorstudien kurz zusammengefasst:

- Die Überarbeitung ist unnötig, da die aktuelle Methode überzeugende Ergebnisse liefert. Viele der Anpassungen werden aufgrund neuer oder bisher nicht berücksichtigter wissenschaftlicher Erkenntnisse eingeführt; der WTI wurde jedoch zur Zeit der Einführung nicht als wissenschaftliches Instrument gesehen.
- Die neu definierten Schadensuntergrenzen auf der Nutzenseite stehen im Widerspruch zu den geltenden Belastungsgrenzwerten der LSV.
- Die tieferen Schadenuntergrenzen stehen nicht nur in Konflikt mit der LSV, sondern führen aufgrund einer Ausdehnung des Betrachtungsperimeters zu einem beträchtlichen Mehraufwand für den Akustiker. Ein zweistufiges Verfahren für die Reduzierung des Aufwands wird teilweise skeptisch betrachtet.
- Die neue WTI-Methode darf nicht dazu führen, dass der Aufwand für den Anwender des Excel-Tools erhöht wird.
- Um der Komplexität der WTI-Methode entgegenzuwirken, sollen der Mietzins- und Gesundheitsnutzen zu einem Koeffizienten zusammengefasst werden.
- Auf der Kostenseite wird die Anpassung des Kapitalzinssatzes begrüsst. Eine Flexibilisierung oder Ausweitung der Standardkosten wird nicht unterstützt, da so die Methode noch komplexer wird.
- Geschäftsliegenschaften sollen weder für die Effizienz- noch für die Effektivitätsberechnung berücksichtigt werden.
- Der Interpretationsspielraum, z.B. bei der Perimeterwahl, soll bestmöglich begrenzt werden.

26. Mai 2021

3. Durch diese Studie vorgeschlagene Anpassungen und Vereinfachungen

Um den Vorschlag der Vorstudien zu einer vollzugstauglichen Methode weiterzuentwickeln, soll unter Berücksichtigung der Rückmeldungen der Begleitgruppe primär eine Vereinfachung der Methode geprüft werden. In diesem Kapitel werden die von dieser Studie vorgesehenen Anpassungen und Vereinfachungen präsentiert.

3.1 Prüfung der Aktualität der Parameter auf der Nutzenseite

Die Vorstudie durch BSS und B&H wurde 2017 beim BAFU eingereicht. Die darauf basierende Studie durch ECOPLAN und Sinus, welche ein Jahr später abgeschlossen wurde, hat gewisse Parameter aktualisiert. Die Mietkosten k_{Miete} wurden auf das (damals) aktuelle Jahr 2017 hochgerechnet und die Gesundheitskosten $k_{Gesundheit}$ gemäss der neu publizierten Studie zu den externen Kosten des Verkehrs (ECOPLAN und Infrac, 2018) aktualisiert. In Absprache mit dem BAFU wird darauf verzichtet, die Mietkosten erneut auf das aktuelle Jahr hochzurechnen.

Gewisse Parameter mussten jedoch aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse angepasst werden. Im Folgenden werden die Anpassungen kurz präsentiert.

3.1.1 Schadensuntergrenze Mietzinsnutzen

Die Schadensuntergrenze für den Mietzinsnutzen und die prozentuale Mietzinsreduktion sind miteinander gekoppelt. Die Vorstudien haben die beiden Parameter auf Basis einer Publikation der Zürcher Kantonalbank (ZKB) aus dem Jahr 2012 definiert, in der die Auswirkungen von Verkehrslärm auf den Preis von Immobilien untersucht wurden. Die ZKB hat 2019 eine erneute Studie publiziert mit einem aktuellen Datensatz und einer angepassten Methodik.

Für die ZKB-Studie 2012 wurden immissionsseitige Lärmbelastungen von <50 dBA tags und <40 dBA nachts berücksichtigt (Planungswerte der höchsten Empfindlichkeitsstufe ES I gemäss Anhang 3 und 4 der LSV). Dieses «ZKB-Lärmass» wurde in den Vorstudien zur Anpassung des WTI als Schadensuntergrenze für den Mietzinsnutzen definiert.

In der ZKB-Studie des Jahres 2019 wurde neu als Schadensuntergrenze für die Untersuchung der Auswirkungen des Verkehrslärms auf Immobilien 50 dBA L_{den} definiert, da diese «kaum wahrnehmbar sind». Die in dieser Studie verwendete Schadensuntergrenze basiert auf dieser neuen Schadensuntergrenze, wird jedoch ins Schweizer Lärmass umgerechnet, um die Anwendung des WTI-Tools zu vereinfachen (s. Kap. 3.2.1).

3.1.2 Prozentuale Mietzinsreduktion

Die lärmbedingte Mietzinsreduktion ist an die Schadensuntergrenze gekoppelt, und muss deshalb auch angepasst werden. Gemäss ZKB (2019) beträgt die prozentuale Mietzinsreduktion pro dBA Lärmbelastung über der Schadensuntergrenze für Mietwohnungen 0.16% (Strasse und Schiene) und für Stockwerkeigentum 0.43% (Strasse) bzw. 0.46% (Schiene). Die Ermittlung der gewichteten prozentualen Mietzinsreduktion für Strasse und Schiene folgt der Herangehensweise von ECOPLAN und Infrac (2014), und erfolgt auf Basis der Wohneigentumsquote aus dem Jahr 2017 (38.0%), und dem Anteil belärmter Mietwohnungen (63.0% für Strasse, 6.5% für Schiene) und belärmtem Stockwerkeigentum (50.0% für Strasse, 4.3% für Schiene) im Datensatz von ZKB (2019).

Die resultierende gewichtete prozentuale Mietzinsreduktion pro dBA über der Schadensuntergrenze ist sehr ähnlich zu den vorangehenden Studien und beträgt sowohl für Strasse als auch für Schiene 0.25%.

26. Mai 2021

3.1.3 Schadensuntergrenze Gesundheitsnutzen

Der durchschnittliche Schwellenwert für Lärmwirkungen auf verschiedene durch Lärm mitverursachte Krankheiten beträgt gemäss damals aktuellen Studien der WHO 48 dBA L_{den} (ECOPLAN und Infrass, 2014). Als Schadensuntergrenze für die Gesundheitskosten wurde deshalb in den Vorstudien 48 dBA L_{den} definiert.

In den letzten Jahren haben zwei Studien basierend auf aktuellen Erkenntnissen zu den Dosis-Wirkungsbeziehungen für verschiedene Krankheiten und für Strassen- und Eisenbahnlärm neue Schwellenwerte veröffentlicht². Diese gehen davon aus, dass eine Strassenlärmbelastung von unter 45 dBA L_{den} keine Auswirkungen auf die Herzinfarkt-Mortalität, ischämische Herzkrankheiten und Diabetes hat. Bei der Lärmbelastung durch die Eisenbahn liegt der Schwellenwert für lärmbedingte Diabeteserkrankungen bei 45 dBA L_{den} , diejenigen für die Herzinfarkt-Mortalität und die ischämischen Herzkrankheiten bei 40 dBA L_{den} (wobei zu berücksichtigen gilt, dass Lärmwerte unterhalb dieser Schwellenwerte oft gar nicht vorhanden sind für Analysen der Dosis-Wirkungs-Beziehungen).

Da der WTI vor allem für Lärmschutzmassnahmen an Strassen verwendet wird und im Sinne einer Vereinfachung darauf zu verzichten ist, unterschiedliche Schadensuntergrenzen für Strasse und Eisenbahn zu verwenden, wird in Absprache mit dem BAFU von einer durchschnittlichen Schadensuntergrenze von 45 dBA L_{den} ausgegangen. Wie die Schadensuntergrenze des Mietzinsnutzens wird auch diese Schadensuntergrenze ins Schweizer Lärmass umgerechnet (s. Kap. 3.2.1).

3.2 Vereinfachung der vorgeschlagenen WTI-Methode

Um den Vorschlag der Vorstudien zu einer vollzugstauglichen Methode weiterzuentwickeln, wird unter Berücksichtigung der Rückmeldungen der Begleitgruppe primär eine Vereinfachung der Methode angestrebt. In diesem Kapitel werden die Vereinfachungen und ihre Auswirkungen präsentiert.

3.2.1 Umrechnung der Schadensuntergrenzen ins Schweizer Lärmass

Die Schadensuntergrenzen sind beide definiert durch einen Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den} – ein Mass, welches international oft verwendet wird. Im Gegensatz zu anderen Ländern kennt die Schweizer LSV jedoch keine Abendperiode, so dass eine Umrechnung vom Schweizer Lärmass L_T (6–22h) und L_N (22–6h) zu L_{den} gewisse Annahmen erfordert.

Die neu definierten Schadensuntergrenzen als L_{den} -Werte würden nach sich ziehen, dass für jede WTI-Berechnung zuerst eine Umrechnung der immissionsseitigen Lärmbelastungen in einen L_{den} -Wert erfolgen muss. Um diesen Aufwand zu reduzieren, und um ein vollzugstaugliches WTI-Tool zu entwickeln, welches konform ist mit den Perioden in der LSV, wurde in Absprache mit dem BAFU entschieden, dass die Schadensuntergrenzen nicht als L_{den} -Werte definiert werden.

Die Schadensuntergrenzen für den Mietzins- (50 dBA L_{den}) und Gesundheitsnutzen (45 dBA L_{den}) werden deshalb ins Schweizer Lärmass umgerechnet. Für die Umrechnung zwischen L_{den} und den einzelnen Zeitperioden wird in der Schweiz standardmässig folgende Formel benutzt, wobei oft sowohl L_{day} (6–18h) und $L_{evening}$ (18–22h) mit dem Schweizer L_T gleichgesetzt werden:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (5)$$

² Die aktuellen Dosis-Wirkungs-Beziehungen basieren auf den Studien von Heritier et al. (2017) und Vienneau et al. (2019) (s. Referenzliste am Ende dieser Studie).

26. Mai 2021

Die in dieser Studie verwendete Umrechnung geht auf eine Publikation von Autoren des BAFU und der EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) zurück, die anhand von realen Emissionsdaten vom ASTRA-Messstellennetz und von analogen europäischen Zählstellen die Umrechnungsfaktoren zwischen europäischem L_{den} und dem Schweizer Lärmass ermittelt hat³.

$$L_T = L_{den} - 2.3 \pm 0.8 \quad (6)$$

$$L_N = L_{den} - 9.3 \pm 1.2 \quad (7)$$

In der oben erwähnten Studie wurden auch Umrechnungsfaktoren für den Eisenbahnlärm publiziert. Da zu vermeiden ist, für Eisenbahn- und Strassenlärm unterschiedliche Schadensuntergrenzen zu verwenden, basiert die Umrechnung auf den Werten für den Strassenlärm. Mittels dieser Gleichungen resultieren folgende Schadensuntergrenzen:

- Mietzinsnutzen: 47.7 dBA tags / 40.7 dBA nachts
- Gesundheitsnutzen: 42.7 dBA tags / 35.7 dBA nachts

Die umgerechneten Schadensuntergrenzen sind teils tiefer als 40 dBA – ein Pegel, der aufgrund der Nebengeräusche auch in der Nacht nur schwer messbar ist. Im Sinne der Vereinfachung und in Absprache mit dem BAFU wurde entschieden, die Schadensuntergrenzen sowohl für den Mietzins- als auch für den Gesundheitsnutzen bei **45 dBA tags** und **40 dBA nachts** festzusetzen. Durch das teilweise Auf- bzw. Abrunden der Schadensuntergrenzen wird der Mietzinsnutzen leicht überschätzt und der Gesundheitsnutzen unterschätzt.

Diese Schadensuntergrenzen entsprechen auch gleich dem Untersuchungsperimeter. Beide sind im neuen Vorschlag nicht mehr abhängig von der Empfindlichkeitsstufe und der lärmrechtlichen Einordnung des Projekts.

3.2.2 Fusion des Mietzins- und Gesundheitsnutzens

Die Rückmeldung seitens ASTRA war, dass auf eine Unterscheidung zwischen Mietzins- und Gesundheitsnutzen zu verzichten ist. Präferiert wird eine Lösung, welche beide Nutzenarten umfasst.

Durch die identischen Schadensuntergrenzen (und deshalb identischen Koeffizienten g_{Miete} und $g_{Gesundheit}$) ist eine Fusion von Mietzins- und Gesundheitsnutzen in einen Nutzen möglich. Die Kostensätze k_{Miete} und $k_{Gesundheit}$ lassen sich jedoch nicht zusammenfassen, da die Mietzinskosten von der Bruttogeschossfläche und die Gesundheitskosten von der Personenzahl abhängen.

Die zusammengefassten volkswirtschaftlichen Lärmkosten jeweils mit und ohne Massnahme lassen sich mit folgender Formel berechnen (s. Formeln (2) und (3) für Erklärung der Parameter):

$$VK = g \cdot (BGF \cdot f \cdot k_{Miete} + p \cdot k_{Gesundheit}) \quad (8)$$

Im WTI-Excel-Tool können, je nach Bedarf, im Sinne der Vereinfachung nur die gesamten volkswirtschaftlichen Lärmkosten und der gesamte Nutzen ausgewiesen werden, d.h. es wird darauf verzichtet, den Mietzins- und den Gesundheitsnutzen separiert anzugeben.

³ Die Umrechnungsfaktoren basieren auf einer Studie von Brink et al. [2018] (s. Referenzliste am Ende dieser Studie).

26. Mai 2021

3.2.3 Vereinfachungen auf der Kostenseite

In der bestehenden Methodik sind gemäss dem Benutzer-Handbuch für das WTI-Excel-Tool (Anhang 4c des Leitfadens Strassenlärm) die Investitionskosten von Lärmschutzmassnahmen auf Basis der Projektunterlagen zu erheben. Sind keine detaillierten Kosten vorhanden, sind die in Anhang 4b des Leitfadens Strassenlärm publizierten Standardwerte zu verwenden.

Die Studie ECOPLAN und Sinus (2018) schlägt sowohl für Lärmschutzwände als auch für lärmarme Beläge vor, entweder die Kostenkategorien zu erweitern oder eine vollständige Flexibilisierung der Standardkosten vorzunehmen.

Eine vollständige Flexibilisierung der Standardkosten ist aus folgenden Gründen nicht vorzusehen:

- Die Mehrheit der Prüfungen der wirtschaftlichen Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen findet auf einer Stufe statt, bei der noch keine projektspezifischen Kosten zu Lärmschutzmassnahmen vorliegen. Eine Einholung dieser Kosten zu diesem frühen Zeitpunkt eines Projekts (wie auch durch die Motion 17.3702 «Wahre Kosten von Lärmschutzmassnahmen, eingereicht durch Nationalrat Franz Grüter gefordert) wäre nicht stufengerecht und mit unverhältnismässig hohen Mehrkosten verbunden.
- Einer der dringendsten Rückmeldungen seitens der in den Vollzug involvierten Behörden war, dass der Aufwand für die Berechnung des WTI v.a. auf der Kostenseite nicht erhöht werden darf.
- Der Verzicht auf Standardwerte würde auch der Zielsetzung dieses Auftrags – der Vereinfachung der Methode – entgegenstehen.

Die durch ECOPLAN und Sinus (2018) vorgeschlagenen neuen Kostenkategorien für Lärmschutzwände basieren auf Lärmschutzprojekten aus verschiedenen Kantonen und können einen Grossteil der realen Kosten der in der Umfrage genannten Massnahmen erklären (s. Kap. 2.2.3 und Tabelle 2).

Tabelle 2: Durch ECOPLAN und Sinus (2018) empfohlene Kostenkategorien für Lärmschutzwände.

Ausführung	Lärmschutzwand (Fr. / m ²)
einfach	800
mittel	1'500
komplex	2'800

Auf die Vorstudie von ECOPLAN und Sinus (2018) aufbauend sollen im Sinne der Vereinfachung folgende Einschränkungen gelten:

- Unter Berücksichtigung der Rückmeldungen der im Vollzug involvierten Behörden und im Sinne der Gleichbehandlung von Projekten unabhängig der baulichen Situation sollen die Kosten für die «mittlere Ausführung» von Fr. 1'500.- pro m² als Standard-Kategorie festgesetzt werden.
- Abweichungen innerhalb der Bandbreite von Fr. 800–2'800.- der vorgeschlagenen Kostenkategorien bzw. zu spezifischen Kostenvorgaben (z.B. kantonale Richtwerte oder falls detaillierte projektbezogene Kostenschätzungen vorhanden sind) sollen in begründeten Fällen möglich sein.

Im Gegensatz zur Vorstudie durch ECOPLAN und Sinus (2018) raten wir davon ab, anhand der in der Umfrage genannten Kosten für lärmarme Beläge Kostenkategorien zu ermitteln. Die Kosten der lärmarmen Beläge wiesen eine grosse Bandbreite auf (Fr. 36±11.-), was vermuten lässt, dass die Kostenbestandteile der genannten Investitionskosten kantonsabhängig variieren oder unterschiedlich kalkuliert wurden. Wir empfehlen, weiterhin die bisherig definierten Standardkosten von lärmarmen Belägen und Referenzbelägen zu berücksichtigen.

26. Mai 2021

3.3 Auswahl Untersuchungsperimeter

3.3.1 Wirkungsabhängige Beschränkung des Perimeters

Gemäss dem technischen Merkblatt «wirtschaftliche Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen» (21 001-20106, Fachhandbuch T/U, ASTRA) sollen für die WTI-Berechnung nur Objekte im Wirkungsbereich der Massnahme berücksichtigt werden, welche eine Wirkung von mindestens 1 dBA aufweisen. Basierend darauf empfehlen wir im Sinne der Vereinfachung, den Perimeter für WTI-Berechnungen horizontal und vertikal so zu beschränken, dass eine Wirkung von mindestens 1 dBA erzielt wird. Gemäss den in Kap. 5.2.2 präsentierten Ergebnissen resultiert die wirkungsabhängige Beschränkung des Perimeters in einen sehr ähnlichen WTI, weist jedoch folgende Vorteile auf:

- Sie vereinfacht die Perimeterauswahl.
- Sie reduziert den Berechnungsaufwand für den Akustiker, unabhängig des zweistufigen Vorgehens (s. nachfolgendes Unterkapitel).
- Der heutige WTI sieht im Normalfall, im Gegensatz zum KNF, keine vertikale Beschränkung des Perimeters vor. Falls jedoch in der bestehenden Methodik der WTI knapp ungenügend ist, empfiehlt das oben erwähnte Merkblatt den Nicht-Einbezug der obersten Geschosse von hohen Gebäuden im Wirkungsgebiet, da das Schutzziel der Massnahme diese ausklammert (zumindest für Nationalstrassen 3. Klasse). Dies hat eine Erhöhung der Effektivität zur Folge. Mit einer quantitativen vertikalen Beschränkung des Untersuchungsperimeter sind diese Überlegungen nicht mehr erforderlich.

3.3.2 Zweistufiges Vorgehen

Die Ausdehnung des Untersuchungsperimeters, v.a. bei bestehenden Anlagen (s. Tabelle 1), kann zu einem beträchtlichen Mehraufwand bei der Anwendung des WTI-Tools führen. Der Aufwand soll mit einem zweistufigen Verfahren vermindert werden (s. Kap. 2.2.4). Der Untersuchungsperimeter der ersten Stufe ist gemäss Vorschlag von ECOPLAN und Sinus (2018) sowohl tags als auch nachts um 5 dBA weniger ausgedehnt als in der zweiten Stufe. Diese zweite Stufe soll gemäss ECOPLAN und Sinus (2018) nur dann zum Zug kommen, falls der WTI knapp unter 1 liegt.

Im Rahmen dieser Studie soll ein Grenzwert für den WTI definiert werden, unterhalb dem die Erarbeitung der zweiten Stufe (d.h. Ausdehnung auf ganzen Perimeter) nicht mehr erforderlich ist.

In Anlehnung auf den Vorschlag von ECOPLAN und Sinus (2018) wird folgendes zweistufiges Verfahren empfohlen:

- Durch die Änderung der Schadensuntergrenzen von gemäss Vorstudien 50 dBA/40 dBA auf 45 dBA/40 dBA (s. Kap. 3.2.1) erhöht sich nochmals der Berechnungsaufwand, falls die Tagperiode massgebend ist (typischerweise nicht der Fall). Um bei der ersten Untersuchungsstufe den Aufwand in Grenzen zu halten, wird empfohlen, den Schwellenwert für diese erste Stufe, wie durch die Vorstudien empfohlen, auf 55 dBA / 45 dBA zu lassen. Dies entspricht einer Reduktion des Untersuchungsperimeters um tags 10 dBA und nachts 5 dBA und entspricht in der bestehenden Methodik der Perimetergrenze von Zonen der Lärmempfindlichkeitsstufe ES II.
- Das Ziel des zweistufigen Verfahrens ist es, den Berechnungsaufwand des Akustikers so stark wie möglich einzugrenzen, ohne dabei zu viel Qualität bei den Ergebnissen einzubüssen. Anders als in der Studie ECOPLAN und Sinus (2018) wird deshalb empfohlen, den Nutzen einer Lärmschutzmassnahme auch bei der ersten Stufe (Perimeter: 55 dBA / 45 dBA) bis zur Schadensuntergrenze (45 dBA / 40 dBA) zu rechnen.

26. Mai 2021

In der Studie von ECOPLAN und Sinus (2018) wurde v.a. anhand von theoretischen Fallbeispielen die Abhängigkeit des Perimeters auf den WTI analysiert. Anhand von WTI-Berechnungen realer Projekte wurde geprüft, wie sich der WTI bei der Ausdehnung des Perimeters auf die zweite Stufe verändert. Da der Perimeter dieser Projekte nicht immer gross genug ist, um die ganze Tragweite der Ausdehnung zu erfassen, wurde bei 3 Praxisbeispielen der Perimeter im Berechnungsmodell ausgedehnt. Alle drei Gebiete verfügen über Siedlungen mit grosser Bautiefe und teilweise eine Hanglage, die eine grosse Lärmausbreitung zur Folge haben. Die Ergebnisse der Untersuchung werden in Kap. 5.4 präsentiert.

3.3.3 Berücksichtigung Geschäftsliegenschaften

Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie Geschäftsliegenschaften für die Berechnung des WTI berücksichtigt werden können:

- **(1) Status quo:** Der Vorteil der Berücksichtigung sowohl der Effektivität als auch der Effizienz für Geschäftsliegenschaften – wie in der bestehenden Methode – ist, dass sie den in der LSV festgehaltenen Schutzanspruch für Gewerbe berücksichtigt.
- **(2) Keine Berücksichtigung für den WTI:** Aus der Begleitgruppe wird als Möglichkeit vorgeschlagen, die Geschäftsliegenschaften für die Berechnung des WTI nicht mehr zu berücksichtigen.
- **(3) Keine Berücksichtigung für die Effizienz:** Die Vorstudien empfehlen, die Geschäftsliegenschaften für die Berechnung der Effizienz (im Gegensatz zur Effektivität) nicht mehr zu berücksichtigen, da wissenschaftlich nicht erwiesen ist, dass diese Liegenschaften bei erhöhter Lärmbelastung einen tieferen Mietzins aufweisen (s. Kap. 2.2.6.). Durch die Berücksichtigung der Geschäftsliegenschaften für das Effektivitätsmass bleibt der Vorschlag konform mit der Gesetzgebung, welche vorgibt, dass diese aus Sicht des Lärmschutzes ebenfalls vor Lärm zu schützen sind. Zugleich wird der Aufwand für den Anwender des WTI-Excel-Tools vermindert, da die Eingabe von Fläche und Wohneinheit entfällt.
- **(4) Keine Berücksichtigung für den Mietzinsnutzen – zweistufiges Vorgehen:** Die Gewerbeliegenschaften werden gemäss den später präsentierten Ergebnissen nur selten dafür verantwortlich sein, dass eine Massnahme als genügend/ungenügend beurteilt wird. Im Sinne der Vereinfachung und der Aufwandreduzierung empfiehlt es sich deshalb, in einem ersten Schritt die Gewerbeliegenschaften weder für die Effektivität noch für die Effizienz zu berücksichtigen. Sollte der WTI knapp ungenügend sein, soll in einem zweiten Schritt (neben der Ausweitung des Perimeters; s. vorangehendes Kap. 3.3.2) die Effektivität und der Gesundheitsnutzen für die Gewerbeliegenschaften mitberücksichtigt werden (nicht jedoch der Mietzinsnutzen aufgrund der fehlenden Korrelation zwischen Mietzins und Lärmbelastung). In Kap. 5.4 wird diskutiert, ab welchem WTI ein zweiter Schritt empfehlenswert ist. Dieser Vorschlag wird auf Grundlage der vorgestellten Ergebnisse in Kap. 5.5 zur Umsetzung empfohlen.

Bei der Berücksichtigung von Geschäftsliegenschaften für die Gesundheitseffizienz muss die Anzahl Wohneinheiten (entspricht standardmässig 3 Personen) erfasst werden, die der ermittelten Lärmbelastung ausgesetzt sind. Gemäss dem technischen Merkblatt «wirtschaftliche Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen» (21 001-20106, Fachhandbuch T/U, ASTRA) sollen bei grossen Gewerbegebäuden nur die lärmempfindlichen Flächen berücksichtigt werden. In solchen Fällen empfiehlt sich deshalb, die Geschossfläche auf eine Raumtiefe von 4.5m zu begrenzen. Für die Ermittlung der Anzahl Personen, die der festgestellten Lärmbelastung an der Strassenfassade ausgesetzt sind, wird empfohlen, bei grossen Gewerbegebäuden von einer durchschnittlichen Bürofläche pro Person von 20m² auszugehen⁴.

⁴ Gemäss der Wegleitung zum Art. 24 (Besondere Anforderungen an Arbeitsplätze) der Verordnung 3 zum schweizerischen Arbeitsgesetz (ArGV 3) liegt die durchschnittliche Bodenfläche eines Büroarbeitsplatzes in der Schweiz zwischen

26. Mai 2021

4. Auswahl an Praxisbeispielen

Um die Auswirkungen der Anpassungen auf den WTI zu prüfen, ist eine grosse und breite Palette an realen Praxisbeispielen erforderlich. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden 168 WTI-Berechnungen realer Projekte, die in den letzten 10 Jahren durch G+P AG durchgeführt wurden, analysiert. Diese 168 WTI-Berechnungen umfassen Lärmschutzmassnahmen in 91 Gebieten aus 12 grossen Projekten (alles bestehende Anlagen) in der gesamten Schweiz (Abb. 3); es wurden teilweise mehrere Varianten in einem Gebiet geprüft (z.B. verschiedene Höhen der LSW oder Kombination lärmarmen Belag und LSW).

Die WTI-Berechnungen wurden ursprünglich im Auftrag des ASTRA, der SBB oder des Kantons Zürich erarbeitet. 8 der 91 Gebiete betreffen Eisenbahnlärm, der Rest ist Strassenlärm, v.a. an Nationalstrassen. Die Lärmschutzmassnahmen umfassen neue LSW, eine Erhöhung von LSW inkl. der Berücksichtigung des Restwerts der bestehenden Wand und des Zusatznutzens der Erweiterung, Verlängerung von LSW ohne erforderlichen Abbruch, Überdeckungen, lärmarme Beläge, und Kombinationen von LSW und lärmarmen Belägen. Da kein Muster einer Abhängigkeit einer bestimmten Lärmschutzmassnahme zu den Anpassungen des WTI festgestellt wurde, werden alle Ergebnisse zusammen präsentiert (Kap. 5).

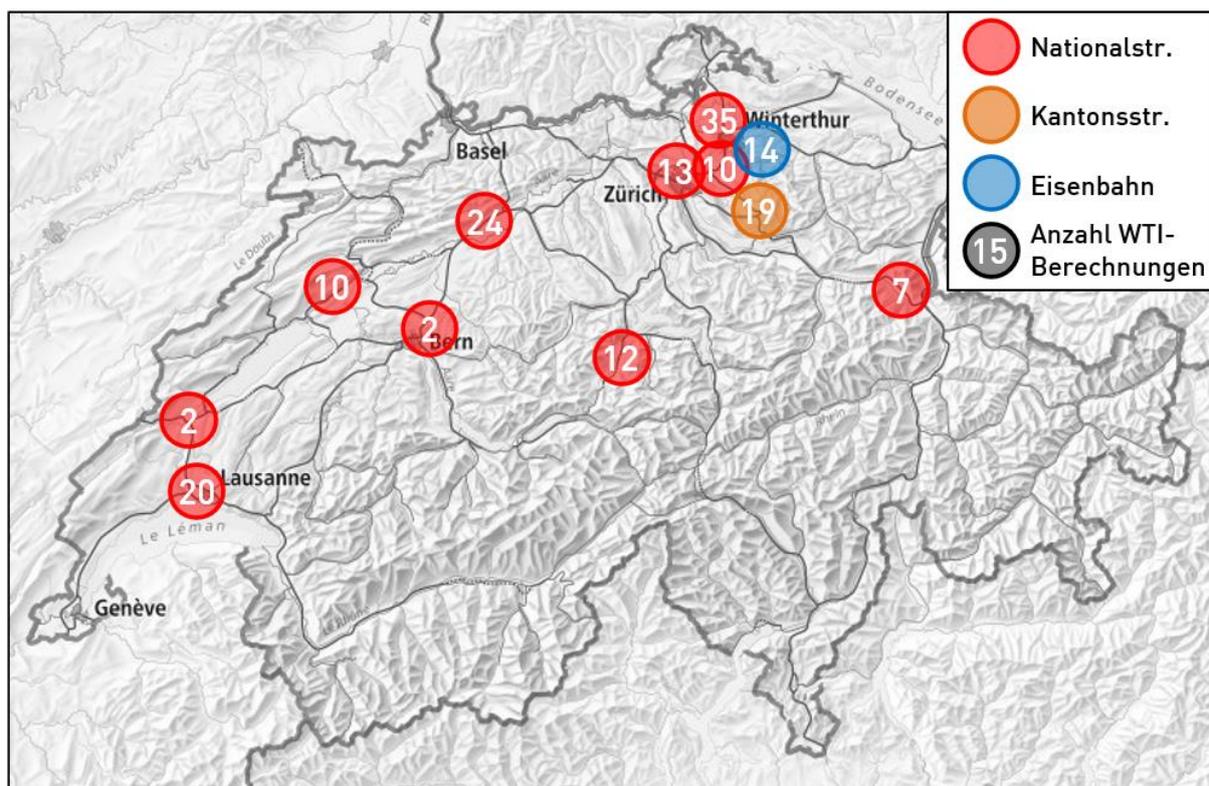


Abb. 3: Räumliche Verteilung der WTI-Berechnungen, aufgeteilt nach Projekten (z.B. Ausführungsprojekt 6-Spur-Ausbau Luterbach – Härkingen). Die Zahlen geben die Anzahl untersuchter WTI-Berechnungen pro Projekt wieder.

Ein zentraler Punkt der Arbeit war, den ursprünglich erzielten WTI mit dem durch die Anpassungen resultierenden Wert zu vergleichen. Da Massnahmen mit einem ursprünglich schlechten WTI (0–0.5) oder einem guten bis sehr guten WTI (>2) durch die Anpassungen der Methodik keine Änderung in der

10 und 25 m². Gemäss einer Studie der Credit Suisse liegt in Grossraumbüros die durchschnittliche Bürofläche pro Person bei ca. 15 m², für kleinräumigere Büros ist sie etwas höher (<https://www.credit-suisse.com/ch/de/unternehmen/unternehmen-unternehmer/aktuell/bueroflaeche-pro-mitarbeiter-nimmt-ab.html>).

26. Mai 2021

Beurteilung erfahren (d.h. sie bleiben unter bzw. über 1), wurde bei der Auswahl der WTI-Berechnungsbeispiele darauf geachtet, dass viele knappe Entscheide berücksichtigt werden. Die ursprünglich publizierten WTI der untersuchten Beispiele umfassen Werte zwischen 0 und 6, wobei sich die Anzahl der Fälle pro WTI-Beurteilungskategorie folgendermassen zusammensetzt:

- schlechter WTI (<0.5): 24 Beispiele (14%)
- ungenügender WTI (0.5–1.0): 67 Beispiele (40%)
- genügender WTI (1.0–2.0): 63 Beispiele (38%)
- guter WTI (2.0–4.0): 11 Beispiele (7%)
- sehr guter WTI (>4.0): 3 Beispiele (2%)

Fast 80% der Beispiele fallen in die WTI-Kategorien *ungenügend* oder *genügend* (0.5–2.0), wobei über ein Drittel der Beispiele einen knapp ungenügenden oder genügenden WTI aufweisen (0.8–1.2) (Abb. 4).

Da es für den bestehenden WTI nicht erforderlich war, die Anzahl der betroffenen Wohneinheiten zu ermitteln, musste dies für fast jedes Gebiet nachgeholt werden. Der Zugriff auf die erforderlichen Daten des eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) erfolgte über den Kartenviewer von *geo.admin.ch*, bei der sich die GWR-Daten (und auch die Flächen aller Gebäude) des Bundesamts für Statistik für jedes Gebäude einsehen lassen.

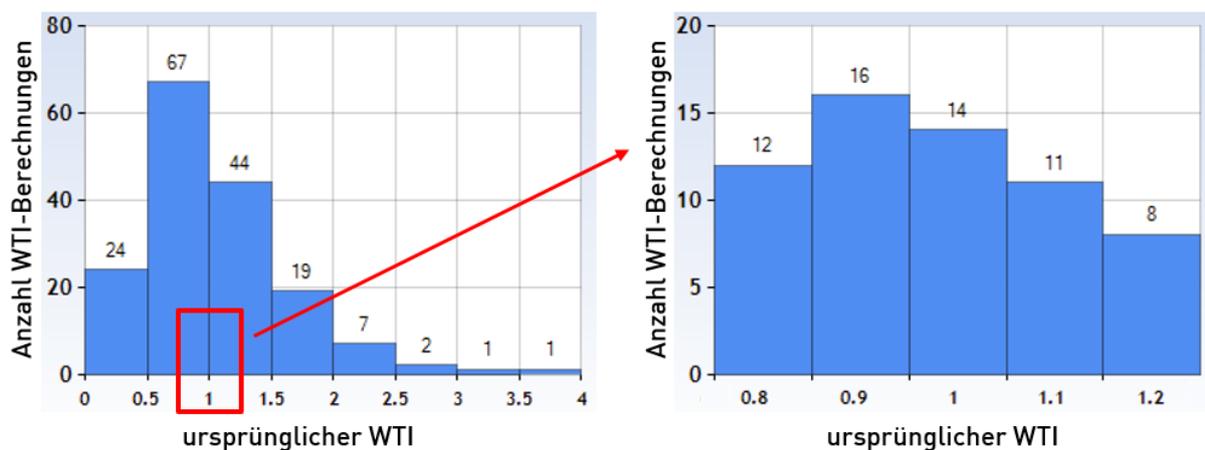


Abb. 4: Verteilung der WTI-Werte der ausgewählten Praxisbeispiele (bestehende Methodik). Die drei Beispiele, welche einen sehr guten WTI aufweisen (>4) sind im Histogramm nicht dargestellt.

Um einen repräsentativen Vergleich zwischen allen Beispielen zu ermöglichen, mussten die WTI-Berechnungsbeispiele des Lärmsanierungsprojekts der Gemeinde Hinwil (Kantonsstrassen) angepasst werden. Für dieses Projekt ging man ursprünglich von Mietkosten von Fr. 230.- anstatt 150.- pro m² und Jahr aus, und von Investitionskosten von Fr. 2'100.- anstatt 1'700.- pro m² neuer Lärmschutzwand. Hier wurden die ursprünglichen Kosten ersetzt durch die üblichen Standardkosten.

5. Untersuchungsergebnisse

In diesem Kapitel werden die relevanten Ergebnisse präsentiert, die sich durch die Analyse der realen WTI-Beispiele ergeben haben. Sowohl der bestehende als auch der neue WTI beruhen auf derselben Systematik der Erfassung des Nutzens einer Massnahme über die Überschreitung eines Schwellenwerts, wodurch sie vergleichbar bleiben.

Abb. 5 zeigt in einem Streudiagramm den Vergleich zwischen dem bestehenden und dem neu vorgeschlagenen WTI für die in dieser Studie berechneten WTI-Praxisbeispiele. Auffällig ist, dass die Bandbreite der WTI-Werte für die bestehende Methodik viel grösser ist als mit der neuen Methodik. Die

26. Mai 2021

bestehende Methode weist in der Tendenz tiefere Werte bei $WTI < 1$ und höhere Werte bei $WTI > 1$ auf. Die Punktwolke um $WTI = 1$ liegt jedoch auf der dargestellten Diagonalen (gestrichelte Linie), was bedeutet, dass für knappe Projekte (WTI rund um 1) die Beurteilung ähnlich ausfällt. Falls das Gewerbe sowohl für die Effizienz als auch für die Effektivität mitberücksichtigt wird (s. Einfluss des Gewerbes in Kap. 5.5), sind bei beiden WTI -Methodiken in etwa 45% der untersuchten Beispiele genügend, wobei für ca. 80% der Beispiele die Beurteilung identisch ausfällt und je ca. 10% der Beispiele neu genügend bzw. ungenügend sind (s. Details in Kap. 5.2).

Die Auswirkungen der in den vorangehenden Kapiteln vorgestellten Anpassungen auf den in Abbildung 5.1 dargestellten WTI bei der Berechnung der Effizienz, der Effektivität und des WTI -Werts werden in den nachfolgenden Kapiteln Schritt für Schritt aufgezeigt. Die in den Kapiteln 5.1 bis 5.3 präsentierten Ergebnisse basieren auf dem Einbezug aller im Perimeter vorhandenen Liegenschaften bis zur neu definierten Schadensuntergrenze 45 dBA tags und 40 dBA nachts. Eine Differenzierung zwischen dem 1. und 2. Berechnungsschritt wird in Kap. 5.4 vorgenommen. Im letzten Kap. 5.5 wird dann der Einfluss der Geschäftsliegenschaften auf die WTI -Beurteilung analysiert.

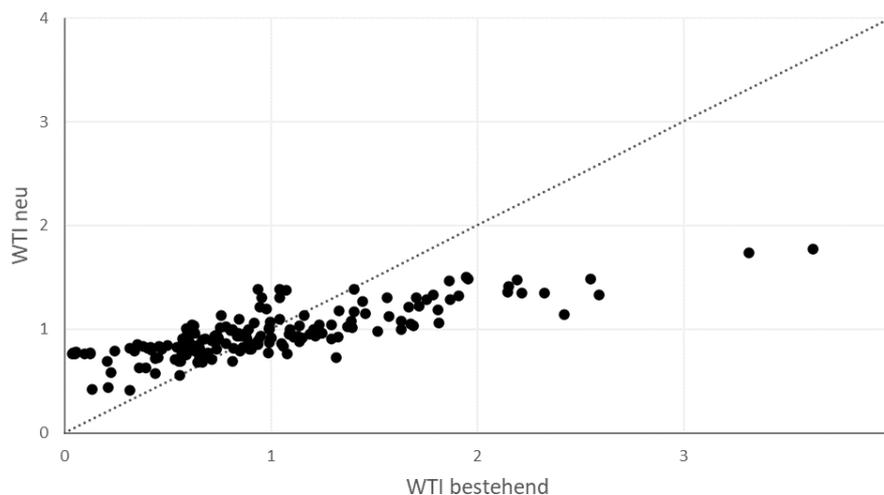


Abb. 5: Vergleich zwischen bestehendem WTI und neuem WTI mit der linearen Trendlinie in schwarz. Der neue WTI basiert auf den in Kap. 3 diskutierten Veränderungen mit Ausnahme, dass die Gewerbeliegenschaften für die Effizienz und die Effektivität mitberücksichtigt wurden (s. Einfluss des Gewerbes in Kap. 5.5). Die gestrichelte diagonale Linie entspricht der Identitätslinie (oder Gleichheitslinie), welche illustriert, wie der Vergleich zwischen zwei identischen Datensätzen aussehen würde.

5.1 Abhängigkeiten der Effizienz in der neuen Methodik

Die in Abb. 5 dargestellte Diskrepanz zwischen dem bestehenden und neuem WTI ist v.a. den zahlreichen Veränderungen der Effizienz und der neuen WTI -Formel geschuldet. Die Effizienz als Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten wird in der neuen Methodik nicht nur durch den Mietzins- sondern auch durch den Gesundheitsnutzen gesteuert. Beide Nutzenarten tragen in etwa gleich viel zum Gesamtnutzen bei; der durchschnittliche Anteil des Gesamtnutzens durch den Gesundheitsnutzen liegt bei 52% (Abb. 6a). Dadurch lässt sich schlussfolgern, dass der neue WTI zu etwa gleichen Teilen von der Wohnfläche und der Personenzahl im Untersuchungsperimeter abhängt.

Im Einzelfall variiert der Anteil des Gesundheitsnutzen am Gesamtnutzen zwischen ca. 25 und 75%, und ist primär gesteuert durch die Dichte an Wohneinheiten. Ein hoher Gesundheitsnutzen wird vor allem in dicht bevölkerten Gebieten erzielt, mit hoher Anzahl an Wohneinheiten (entspricht 3 Personen) pro m^2 (s. Abb. 6b).

26. Mai 2021

Anhand Abb. 6a lässt sich erahnen, dass dichter bebaute Gebiete mit hoher Personenzahl pro Fläche, und deshalb höherem Gesundheitsnutzen, eine leicht höhere Effizienz aufweisen. Die positive Korrelation zwischen Effizienz und hoher Wohndichte wird durch Abb. 6c verdeutlicht.

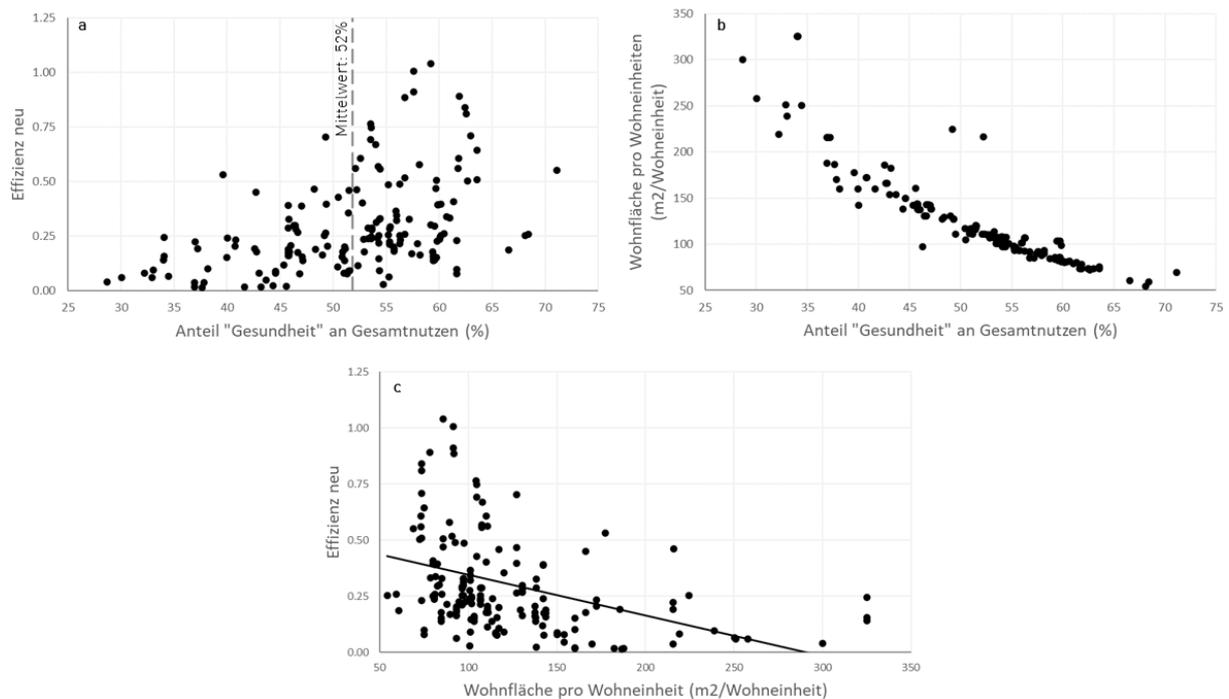


Abb. 6: Der Anteil des Gesundheitsnutzen am Gesamtnutzen in Abhängigkeit **(a)** der Gesamteffizienz und **(b)** der Fläche pro Wohneinheit. In Abb. **(c)** ist die Abhängigkeit der Fläche pro Wohneinheit zur Effizienz dargestellt. Die neue Effizienz basiert auf den in Kapitel 3 diskutierten Veränderungen mit Ausnahme, dass die Gewerbeliegenschaften für die Effizienz mitberücksichtigt wurden (s. Einfluss des Gewerbes in Kap. 5.5).

5.2 Vergleich mit bestehender WTI-Methodik

5.2.1 Effizienz

Der Vergleich zwischen der bestehenden und neuen Effizienz in Abb. 7 zeigt, dass trotz der Anpassungen sowohl auf der Nutzen- als auch auf der Kostenseite ihr Verhältnis zueinander im Mittel etwa konstant geblieben ist. Die Auswirkungen der Anpassungen der verschiedenen Parameter heben sich auf: während dem der erhöhte Kostenzinssatz, der erhöhte Mietzins pro m² und Jahr, die tendenziell tieferen Schadensuntergrenzen und die tieferen Kosten für neue Lärmschutzwände die Effizienz erhöhen, hat die tiefere Mietpreisreduktion den gegenteiligen Effekt. Die Nichtberücksichtigung der Effizienz für Geschäftliegenschaften würde bei einer Minderheit der Beispiele auch zu einer tieferen Effizienz führen; dieser Faktor wurde aber bei diesem Vergleich explizit ausgeklammert und wird in Kap. 5.5 näher diskutiert.

Die neu tieferen Schadensuntergrenzen, welche nicht mehr in Abhängigkeit zu den Belastungsgrenzwerten bzw. zu der entsprechenden Empfindlichkeitsstufe stehen, haben vor allem Auswirkungen auf Zonen der ES III. Im Vergleich zu den Schadensuntergrenzen der alten Methodik (IGW-5 bei bestehenden Anlagen) liegen die neuen Untergrenzen für ES III um 10 dBA tiefer (s. Tabelle 1). In Abb. 8a wird die in Kap. 2.2.4 angesprochene Abhängigkeit zwischen der Empfindlichkeitsstufe und der verwendeten WTI-Methodik ersichtlich. ES III-Gebiete (>90% der Gebäude in ES III) weisen in der neuen Methodik eine eher

26. Mai 2021

höhere Effizienz auf als ES II-Gebiete (>90% der Gebäude in ES II), welche in der alten Methodik gemäss ihrem höheren, gesetzlich verankerten Schutzbedürfnis tendenziell bevorteilt sind.

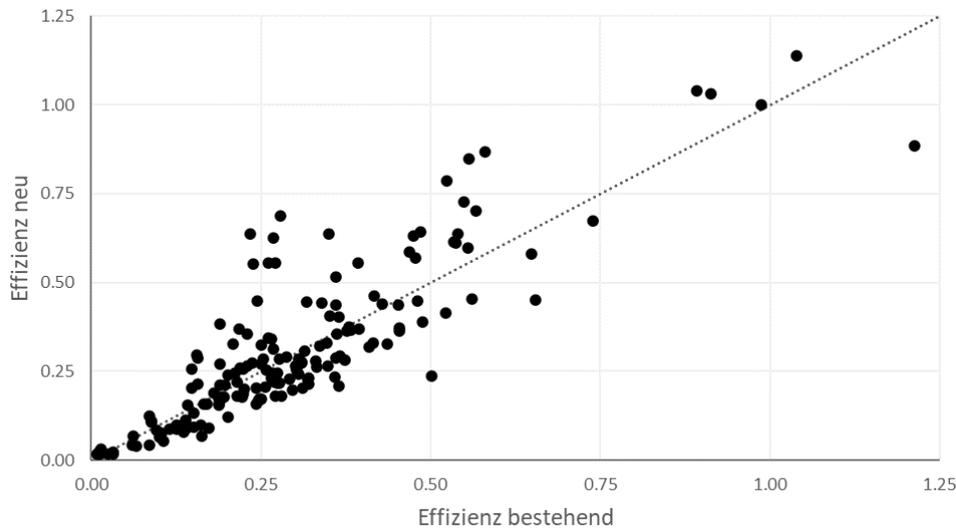


Abb. 7: Vergleich zwischen der bestehenden und der neu berechneten Effizienz, ohne die Nichtberücksichtigung des Gewerbes. Die wenigen Punkte mit einer Effizienz über 1.25 sind nicht dargestellt. Die gestrichelte diagonale Linie entspricht der Identitätslinie (oder Gleichheitslinie), welche illustriert, wie der Vergleich zwischen zwei identischen Datensätzen aussehen würde.

Neben der Empfindlichkeitsstufe hat auch die Fläche pro Wohneinheit einen massgeblichen Einfluss auf die neu ermittelte Effizienz im Vergleich zur bestehenden Effizienz (Abb. 8b). Kleinere Wohneinheiten (<91 m² pro Wohneinheit; 1. Perzentile) weisen im Vergleich zur bestehenden Methode eine höhere Effizienz auf, da so mehr Personen pro Wohnfläche zum Nutzen beitragen (die bestehende Methodik hängt nicht von der Personenzahl ab). Die wenigen ES II-Punkte, die in Abb. 8a eine höhere Effizienz bei der neuen Methodik erahnen lassen, weisen teils eine eher hohe Wohndichte auf.

Die in Abb. 7 beobachtete Varianz zwischen neuer und bestehender Effizienz (Abweichung der Punkte von der Diagonale) kann also gut mit den beiden Parametern *Empfindlichkeitsstufe* und *Wohndichte* erklärt werden. Zudem wird deutlich, dass in der neuen Methode der Schutz von Personen höher gewichtet wird als bisher.

26. Mai 2021

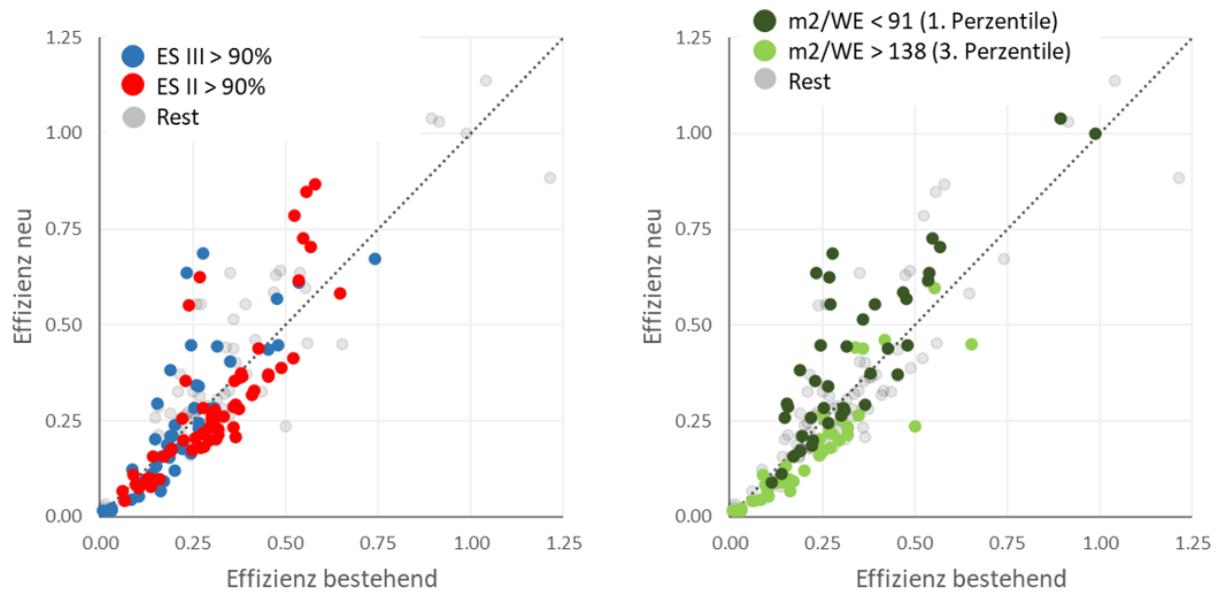


Abb. 8: Vergleich zwischen der bestehenden und der neuen Effizienz (Gewerbe mitberücksichtigt). In Abb. (a) resp. (b) ist die Abhängigkeit der Effizienz zur Empfindlichkeitsstufe resp. zur Wohndichte (m^2 pro Wohneinheit) dargestellt. Die wenigen Punkte mit einer Effizienz über 1.25 sind der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt.

5.2.2 Effektivität

Die Nichtberücksichtigung der Gebäude mit Wirkung < 1 dBA hat eine vernachlässigende Auswirkung auf die Effizienz, da die Gebäude mit Wirkung zwischen 0 und 1 dBA nur wenig zum Gesamtnutzen beitragen. Die Effektivität erhöht sich jedoch v.a. in Gebieten mit hohen Gebäuden, da Etagen mit einer Wirkung < 1 dBA nicht mehr zu berücksichtigen sind (Abb. 9). In 7% der untersuchten Gebiete würde dies zu einer erhöhten Effektivität führen.

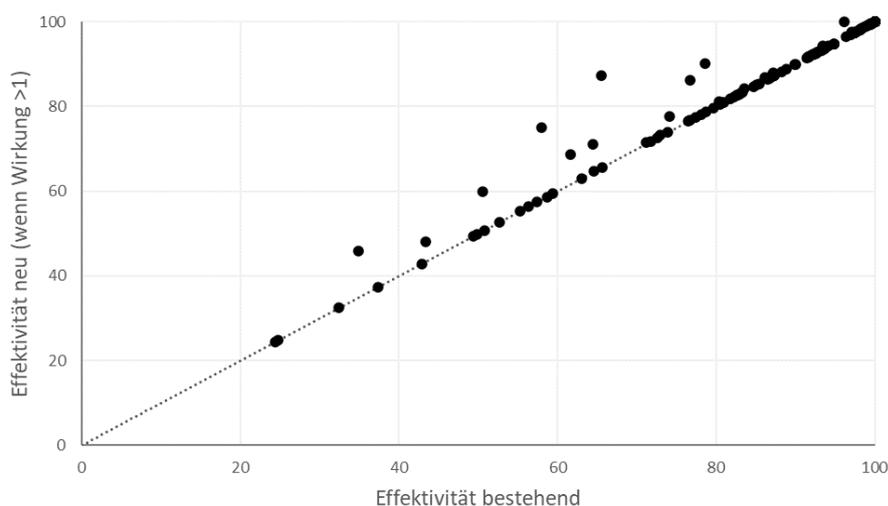


Abb. 9: Vergleich zwischen der bestehenden Effektivität und der neu berechneten Effektivität, welche nur noch Berechnungspunkte berücksichtigt, welche eine Massnahmenwirkung über 1 dBA aufweisen. Die gestrichelte diagonale Linie entspricht der Identitätslinie (oder Gleichheitslinie), welche illustriert, wie der Vergleich zwischen zwei identischen Datensätzen aussehen würde.

Die restlichen, durch die Vorstudien vorgeschlagenen Änderungen am WTI haben keine Auswirkungen auf die Effektivität. Falls Geschäftsliegenschaften nicht nur für die Effizienz-, sondern auch für die Effektivitätsberechnung ausgeklammert würden, hätte dies bei den ausgewählten Beispielen keine grossen Auswirkungen auf die WTI-Beurteilung (könnte jedoch bei Gewerbe- oder Mischzonen im Einzelfall durchaus grossen Einfluss haben; s. Kap. 5.5 für weitere Details).

26. Mai 2021

5.2.3 WTI-Wert

Abb. 10 veranschaulicht den Unterschied zwischen den bestehenden und den neuen WTI-Werten. Um den Einfluss der neu empfohlenen Formel zu veranschaulichen, wurde der WTI einmal mit der bestehenden und einmal mit der neuen Formel berechnet. Das heisst, dass die beiden in Abb. 10 präsentierten Datensätze im Effizienz-Effektivitätsdiagramm identisch sind, und sich nur durch die Transformation der Effizienz-Effektivität-Punkte in den WTI-Einzahlwert unterscheiden.

Da die Effizienz (Abb. 7) und die Effektivität (Abb. 9) der bestehenden und der neuen Methodik relativ gut miteinander übereinstimmen, stimmt der neue, mit der bestehenden WTI-Formel ermittelte, WTI relativ gut mit dem bestehenden WTI überein (Kreise ohne Füllung; der lineare Trend des Vergleichs ist fast identisch mit der eingezeichneten Diagonalen). Durch die Anwendung der neuen Formel kommt es zu einer Verringerung der Bandbreite der WTI-Werte (Kreise mit Füllung). Wie in der Einleitung des Kap. 5 angedeutet, weist der neue WTI tendenziell höhere Werte auf im Bereich <1 und tendenziell tiefere Werte im Bereich >1 . Da jedoch die bestehende «WTI=1»-Kurve und die neu vorgeschlagene «WTI=1»-Linie im oberen Bereich des Effizienz-Effektivitätsdiagramms (dort wo die meisten Beispiele mit baulichen Massnahmen «landen») relativ ähnlich verlaufen (s. Abb. 2), stimmen die WTI-Punkte im kritischen Bereich um 1 herum relativ gut miteinander überein.

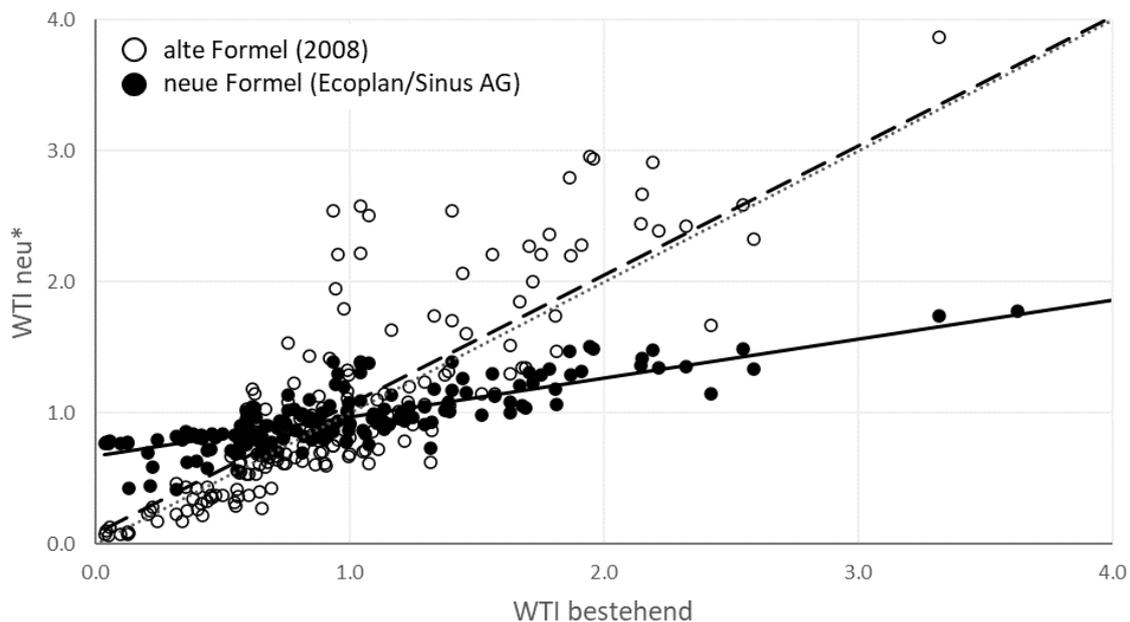


Abb. 10: Vergleich zwischen dem bestehendem und neuem WTI, wobei der WTI-Einzahlwert einmal mit der bestehenden und einmal mit der neuen Formel ermittelt wurde (jeweils dieselbe Effizienz und Effektivität). Der lineare Trend des Vergleichs zwischen bestehender Methodik und neuer Methodik mit alter Formel ist als gestrichelte Linie dargestellt. Der lineare Trend des Vergleichs zwischen bestehender Methodik und neuer Methodik mit neuer Formel ist als durchgezogene Linie dargestellt.

Im Effizienz-Effektivitätsdiagramm, welches zur Beurteilung verwendet wird, ist ersichtlich, dass die Punkte der bestehenden (schwarz) und neuen (rot) Methodik relativ gut miteinander übereinstimmen (Abb. 11). Falls die alte WTI-Formel angewandt wird, werden mit der bestehenden Methodik 40% und mit der neuen Methodik 43% der Massnahmen als genügend beurteilt. Diese Quote reduziert sich auf 39% mit der Anwendung der neuen Formel, wobei sich die Differenz ausschliesslich durch die Punkte

26. Mai 2021

Von den 168 untersuchten Praxisbeispielen kommt keiner der Punkte in den Bereich mit hoher Effizienz und tiefer Effektivität zu liegen, der mit der neuen WTI-Formel als genügend beurteilt wird, mit der alten jedoch als ungenügend (Abb. 12, Bereich Nr. 3). Dies stellt grundsätzlich die Anpassung der WTI-Formel in Frage, da einer der Hauptgründe für eine Änderung der WTI-Formel die Vermeidung von Fällen war, bei denen eine Massnahme abgelehnt werden muss, wenn der Nutzen höher ist als die Kosten (Effizienz > 1). Um jedoch in jedem Fall zu verhindern, dass Massnahmen mit Effizienz > 1 nicht umgesetzt werden (z.B. beim Einbau von lärmarmen Belägen), macht es Sinn die neue WTI-Formel zu verwenden.

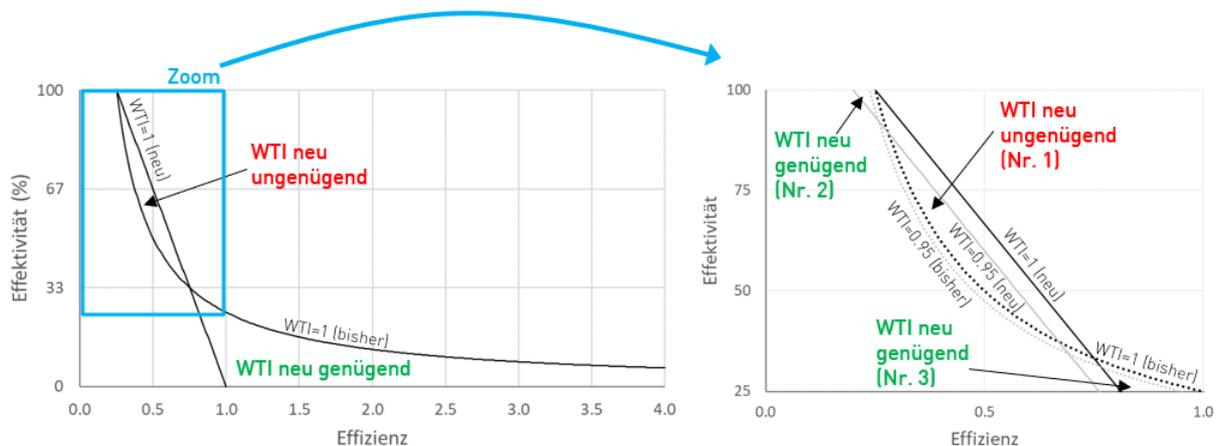


Abb. 12: Vergleich zwischen den bestehenden «WTI=1»- und «WTI=0.95»-Kurven mit den neuen «WTI=1»- und «WTI=0.95»-Linien, inkl. einer detaillierten Veranschaulichung, in welchen Bereichen in der Vollzugspraxis (Anwendung der 0.95-Kurven aufgrund der Rundung auf eine Dezimalstelle) mit der Anwendung der neuen Formel der WTI neu ungenügend (rot; Bereich Nr. 1) resp. genügend (grün; Bereich Nr. 2 und 3) wird (Annahme: gleiche Effizienz und Effektivität).

5.3 Vergleich mit KNF

Bei kleineren Projekten, mit einem Kostenvolumen unterhalb Fr. 500'000.-, genügt eine einfache Kosten-Nutzen-Analyse als Beurteilungsgrundlage für den Entscheid, ob eine Massnahme verhältnismässig und wirtschaftlich tragbar ist. Für einen genügenden Kosten-Nutzen-Faktor dürfen die Kosten (i) Fr. 5'000.- pro geschützte Person und dBA über dem massgebenden Belastungsgrenzwert oder (ii) Fr. 250'000.- pro Liegenschaft nicht überschreiten. Wenn eines dieser Faktoren genügend ist und zudem die Wirkung der Massnahme mindestens 5 dBA erzielt, wird die Massnahme zur Umsetzung empfohlen.

Der KNF wurde für alle Praxisbeispiele berechnet und mit der WTI-Beurteilung verglichen (Abb. 13 oben). Während dem beim bestehenden und neuen WTI je 46% der Projekte genügend sind, erfüllen ca. 80% der Beispiele die Anforderungen des KNF (ein erfülltes Kriterium [i oder ii in Abb. 13] reicht). Alle Beispiele mit einem genügenden WTI weisen dabei einen genügenden KNF auf. Die Kriterien des KNF sind also grundsätzlich «einfacher» zu erfüllen als diejenigen des WTI.

30% der Beispiele erfüllen beide Kriterien (keine eigentliche Anforderung des KNF), wobei das Kriterium «<Fr. 5'000.-/Person und dBA» in ca. 65% der Fälle erfüllt ist (Abb. 13 mittig) und das Kriterium «<Fr. 250'000.-/Liegenschaft» in 45% der Fälle (Abb. 13 unten).

26. Mai 2021

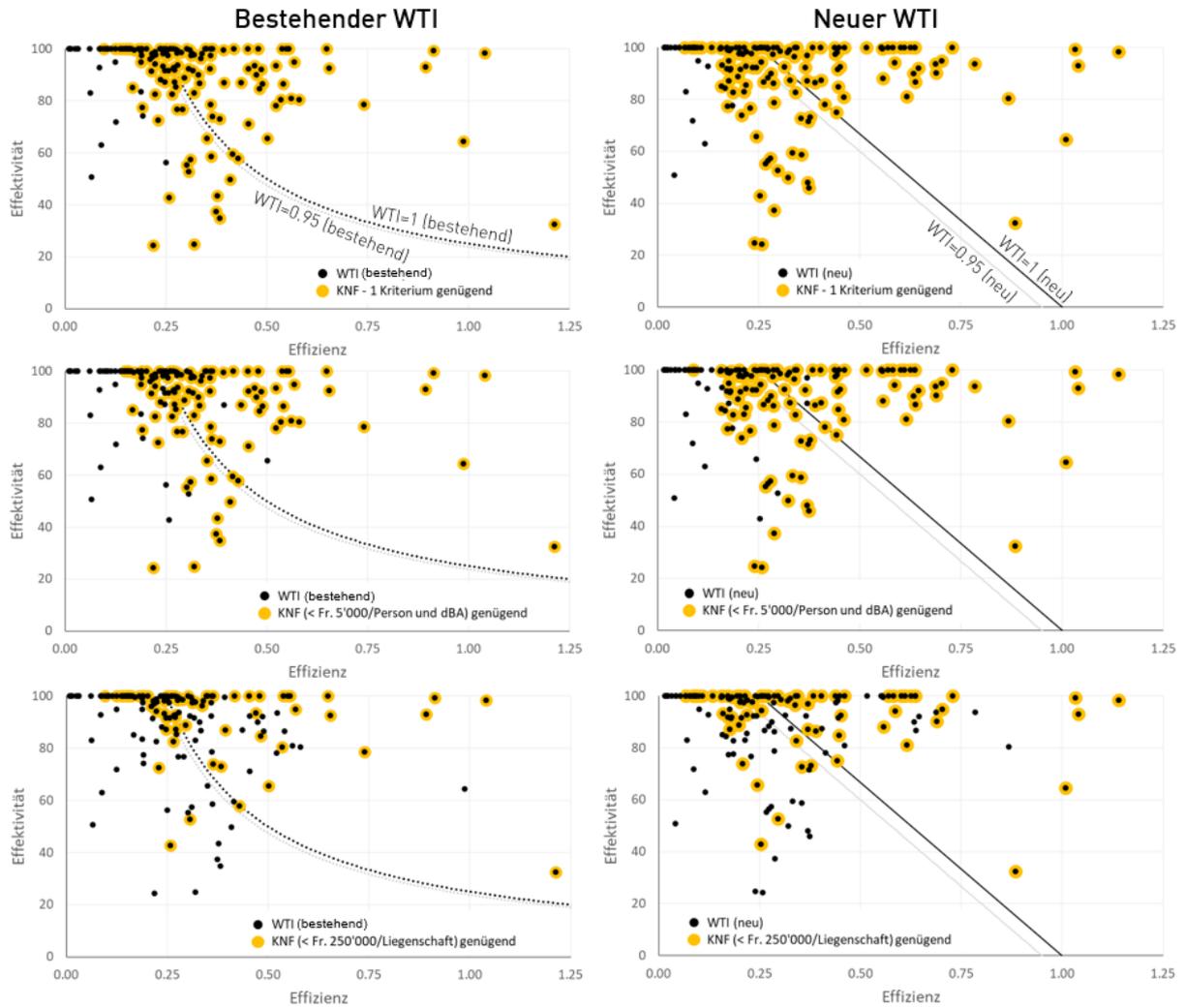


Abb. 13: Vergleich zwischen dem bestehenden WTl (links) bzw. neuen WTl mit dem KNF. Falls der einer der KNF-Faktoren (oben), der Faktor «<Fr. 5'000.-/Person und dBA>» (mittig) bzw. der Faktor «<Fr. 250'000.-/Liegenschaft>» erfüllt sind, ist der entsprechende WTl-Punkt gelb umrandet.

26. Mai 2021

5.4 Auswahl Untersuchungsperimeter – Sensitivitätsanalyse

5.4.1 Ergebnisse der Untersuchung

Um den Aufwand der WTI-Berechnung zu verringern, wurde durch ECOPLAN und Sinus (2018) ein zwei-stufiges Vorgehen bei der Perimeterauswahl empfohlen. Durch die konstante Schadensuntergrenze verändert sich bei einer Variation des Perimeters nur die Effizienz, die Effektivität bleibt konstant. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass es in den 95 Beispielen, bei denen der WTI nach dem ersten Schritt zwischen 0.5 und 0.95 liegt, nur in 6 Fällen zu einer positiven Beurteilung ($WTI > 0.95$) nach der Anwendung des 2. Schrittes kommt. Die durchschnittliche Veränderung des WTI in diesen 6 konkreten Beispielen beträgt durch die Ausweitung des Parameters auf die Schadensuntergrenze (2. Schritt) $+0.02$ (Abb. 14).

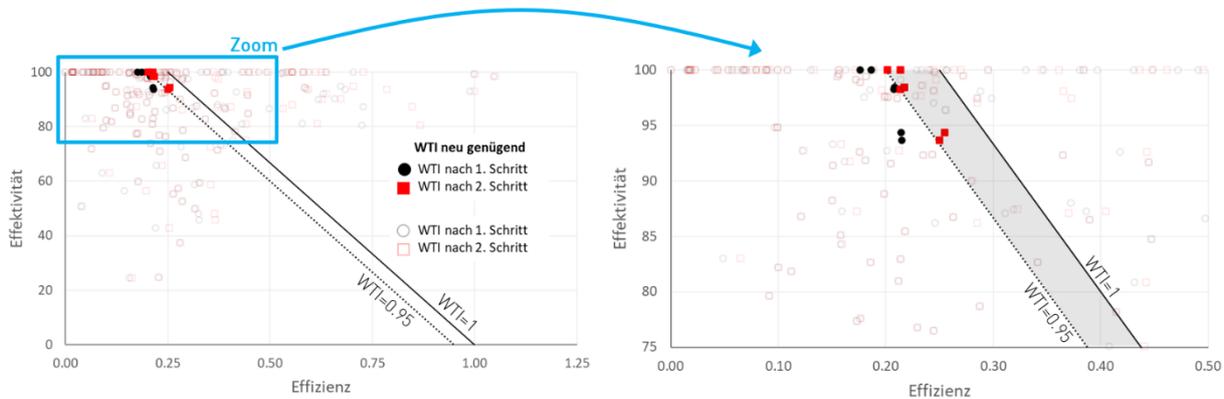


Abb. 14: Veranschaulichung der 6 Praxisbeispiele, welche durch die Anwendung des 2. Berechnungsschrittes eine genügende WTI-Beurteilung erfahren. Alle anderen Praxisbeispiele sind transparenter dargestellt.

Der Grund für diese kleinen Änderungen liegt teils auch daran, dass die realen Beispiele, welche durch die Anwendung des 2. Schrittes eine grössere WTI-Änderung erfahren, keine knapp ungenügende Beurteilung aufweisen. Eine Analyse der WTI-Veränderungen bei allen 168 Projekten zeigt eine Bandbreite an WTI-Differenzen zwischen dem 1. und 2. Schritt zwischen 0 und $+0.2$, mit einem sehr niedrigen Mittelwert von 0.01 ± 0.03 . Nur 6 Praxisbeispiele weisen eine höhere Differenz als 0.1 auf (s. schwarze Kreise in Abb. 15).

Der niedrige Mittelwert liegt an der Tatsache, dass bei vielen Praxisbeispielen die WTI-Differenz zwischen dem 1. und 2. Schritt praktisch nicht vorhanden ist (d.h. praktisch keine Perimetervergrösserung). Dies liegt einerseits daran, dass der Perimeter der realen Beispiele teilweise von Natur aus begrenzt ist (z.B. aufgrund einer natürlichen Begrenzung der Siedlung durch Wald oder Landwirtschaftsflächen). Andererseits ist der Perimeter dieser Beispiele nicht immer gross genug, um die ganze Tragweite der Ausdehnung zu erfassen.

Um die Auswirkungen der zweistufigen WTI-Berechnung besser zu verstehen, wurde bei drei der realen Praxisbeispiele der Perimeter im Berechnungsmodell ausgedehnt. Diese Gebiete liegen an der Nationalstrasse N1 in Ittigen (Gebiete Kappelisacker und Fischrain) und Oensingen, und verfügen über Siedlungen mit grosser Bautiefe, die eine relativ konstante Lärmbelastung aufweisen. Die Ausweitung des Perimeters von Schritt 1 und 2 im Berechnungsmodell beträgt bezogen auf die Anzahl Objekte ca. $+35\%$ in Oensingen, ca. $+105\%$ für das Gebiet Kappelisacker und ca. $+70\%$ für das Gebiet Fischrain (Objekte mit Mindestwirkung von 1 dBA).

26. Mai 2021

Trotz der Erweiterung des Perimeters ist der WTI nach der 2. Stufe für die Gebiete Oensingen und Fischrain nur unwesentlich grösser als für den ursprünglichen Perimeter (+0.02). Wichtiger ist jedoch die Beobachtung, dass auch die WTI-Differenz zwischen 1. und 2. Schritt konstant bleibt bei ca. 0.10 bei beiden Gebieten. Dies bedeutet, dass die neu im Berechnungsmodell vorhandenen Objekte etwa zu gleichen Teilen zur Effizienz im 1. Schritt (durch Lärmbelastungen in der Nacht von >45 dBA) und zur Effizienz im 2. Schritt (durch Lärmbelastungen zwischen 45 und 40 dBA in der Nacht) beisteuern.

Im Gegensatz zu diesen zwei Beispielen hatte die Ausweitung des ursprünglichen Perimeters für das Gebiet Kappelisacker grosse Auswirkungen auf den ermittelten WTI nach der 2. Stufe einerseits (Erhöhung von 1.20 [ursprünglicher Perimeter] auf 1.57 [neu grösserer Perimeter]) und auf die ermittelte WTI-Differenz zwischen 1. und 2. Schritt andererseits (Verdopplung von 0.17 [ursprünglicher Perimeter] auf 0.35 [neu grösserer Perimeter]). Grund für den grossen Einfluss der Perimeterausdehnung für dieses Gebiet ist, dass das gesamte Wohngebiet relativ weit weg liegt von der Nationalstrasse. Dies und ihre erhöhte Lage führt dazu, dass die Lärmbelastung in der ersten Häuserreihe nicht viel höher ist als in den hinteren Gebäudereihen. Durch die Ausweitung der Gebäude um mehr als 100% wurde deshalb das Projekt mit sehr vielen Objekten erweitert, welche Lärmbelastungen zwischen 40 und 45 dBA aufweisen.

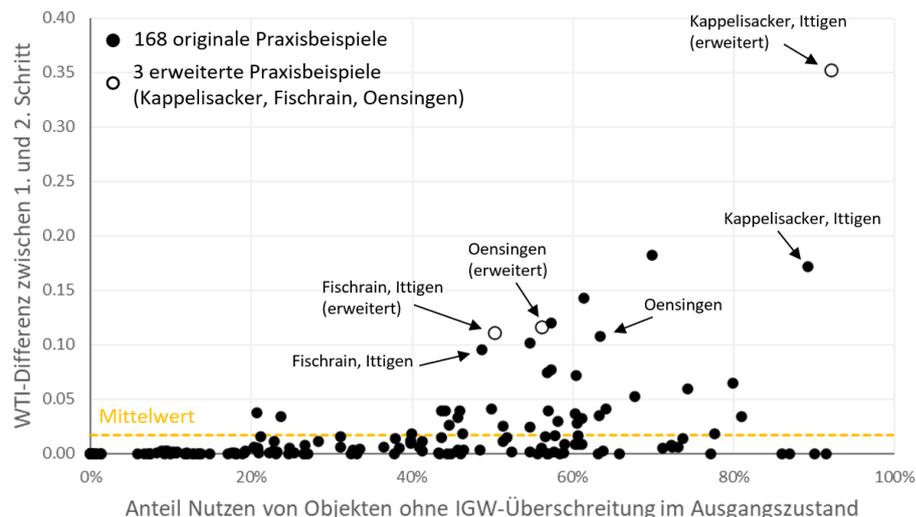


Abb. 15: WTI-Differenz zwischen dem 1. und 2. Berechnungsschritt für die 168 untersuchten Praxisbeispiele und die 3 Beispiele, bei welchem der Perimeter stark erweitert wurde. Die WTI-Differenz ist dargestellt in Abhängigkeit des Anteils des Nutzens von Wohneinheiten auf den Gesamtnutzen, welche ohne Massnahmen keine IGW-Überschreitung aufweisen (s. auch Kap. 5.4.3). Der dargestellte Mittelwert der WTI-Differenz zwischen 1. Schritt und 2. Schritt von 0.017 ist auf alle 171 Beispiele bezogen.

5.4.2 WTI-Grenzwert für die Anwendung des 2. Berechnungsschrittes

Mit Ausnahme des Beispiels Kappelisacker in Ittigen (erweiterte Variante) liegt die Zunahme des WTI aufgrund der Anwendung des 2. Berechnungsschrittes zwischen 0 und 0.2. Bei weiteren 2 Beispielen liegt die WTI-Differenz zwischen 0.15 und 0.2 (Abb. 15). Nun gilt es in einem nächsten Schritt anhand der im vorangehenden Kapitel vorgestellten Daten einen WTI-Grenzwert nach dem 1. Berechnungsschritt festzulegen, ab dem die Anwendung eines 2. Schrittes erforderlich ist. Im Folgenden werden die Auswirkungen von drei Szenarien betrachtet. Beim 1. Szenario wird der WTI-Grenzwert auf gerundeten 0.8 festgelegt, beim 2. Szenario auf gerundeten 0.9 (Abb. 16). Beim 3. Szenario wird aufgezeigt, was ein Verzicht der zweiten Berechnungsstufe für Konsequenzen hätte. Es bleibt bei allen Szenarien zu berücksichtigen, dass die ursprünglich in den Beispielen gewählten Perimeter oft nicht gross genug waren, um die ganze Tragweite der Ausdehnung zu erfassen.

26. Mai 2021

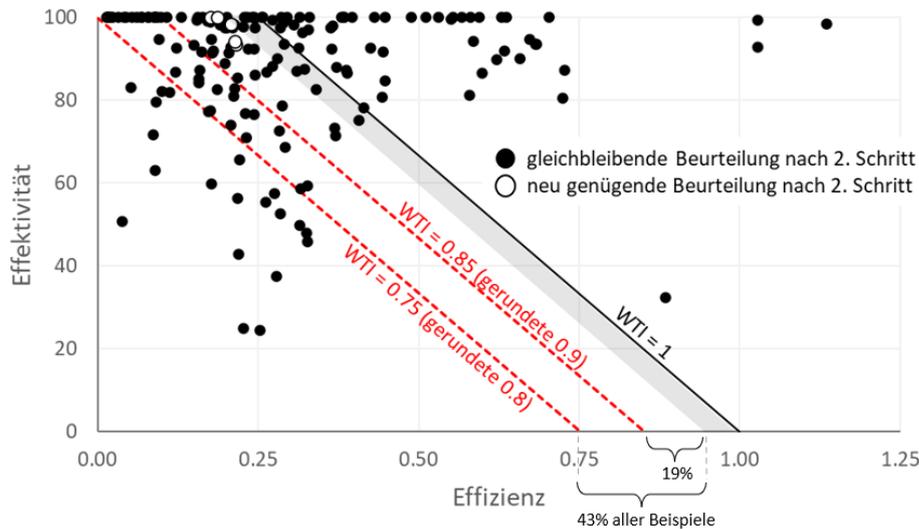


Abb. 16: WTI-Wert nach dem 1. Berechnungsschritt (Perimeter 55 dBA tags / 45 dBA nachts). Illustriert sind die WTI=1-Linie (wobei der Graubereich zwischen 0.95 und 1 in der Praxis auf eine genügende Beurteilung aufgerundet wird), die WTI=0.85-Linie (gerundete 0.9) und die WTI=0.75-Linie (gerundete 0.8). Falls der WTI-Grenzwert nach dem 1. Berechnungsschritt bei gerundeten 0.8 liegen würde, müssten für 43% aller Beispiele der 2. Berechnungsschritt angewendet werden. Beim WTI-Grenzwert von gerundeten 0.9 sind es 19% aller Beispiele.

1. Szenario: WTI-Grenzwert nach 1. Schritt >0.8 (gerundet)

- Bei allen Projekten mit einem WTI-Wert zwischen 0.75 und 0.95 im 1. Schritt wird der 2. Schritt fällig.
- In der hypothetischen Annahme, dass alle die von uns betrachteten Beispiele nach dem 2. Anwendungsschritt eine knapp genügende Beurteilung aufweisen (WTI=0.95), würde nur 1 der 171 Beispiele aufgrund des Verzichts der Anwendung des 2. Schritts eine (zu Unrecht) ungenügende Beurteilung erfahren (da nur 1 Beispiel eine WTI-Differenz von über 0.20 aufweist).
- Anhand der Betrachtung der realen Praxisbeispiele lässt sich folgern, dass bei 43% der Beispiele eine Anwendung des 2. Schritts erforderlich wäre (wobei zu berücksichtigen ist, dass für dieses Projekt bewusst viele knappe WTI berücksichtigt wurden). Wie in Abb. 14 gezeigt, würde dies nur in 6 Fällen (8% der Beispiele mit WTI von >0.8 nach 1. Schritt) zu einer Änderung des WTI führen. Der Aufwand für die Anwendung des 2. Schritts scheint angesichts der geringen Erfolgsaussichten nicht gerechtfertigt, v.a. da die 6 Beispiele mit neu genügender Beurteilung nach dem 2. Schritt zwischen 0.90 und 0.95 liegen (Abb. 14). Abb. 16 veranschaulicht diese Einschätzung, da für sehr viele Projekte ein 2. Schritt gerechnet werden müsste, die zwar eine 100%-Effektivität aufweisen, aber eine Effizienz unter 0.1.

2. Szenario: WTI-Grenzwert nach 1. Schritt = 0.9 (gerundet)

- Bei allen Projekten mit einem WTI-Wert zwischen 0.85 und 0.95 im 1. Schritt wird der 2. Schritt fällig.
- In der hypothetischen Annahme, dass alle die von uns betrachteten Beispiele nach dem 2. Anwendungsschritt eine knapp genügende Beurteilung aufweisen (WTI=0.95), würden 9 der 171 Beispiele aufgrund des Verzichts der Anwendung des 2. Schritts eine (zu Unrecht) ungenügende Beurteilung erfahren (da 9 Beispiele eine WTI-Differenz von über 0.10 aufweisen). Die 9 Beispiele stammen aus 5 unterschiedlichen Gebieten, wobei teilweise mehrere Varianten gerechnet wurden. (Wichtig: Die 9 Beispiele mit einer WTI-Differenz >0.10 hätten nur eine sich verändernde Beurteilung zur Folge, wenn sie tatsächlich eine knappe Beurteilung aufweisen würden. In den realen Beispielen weisen diese Projekte jedoch alle eine genügende Beurteilung nach dem 1. Schritt auf.)
- Anhand der Betrachtung der realen Praxisbeispiele lässt sich folgern, dass bei 19% der Beispiele eine Anwendung des 2. Schritts erforderlich wäre. Dies würde in 6 Fällen (18% der Beispiele mit WTI von 0.9 nach 1. Schritt) zu einer Änderung des WTI führen (Abb. 14). Dies scheint ein guter Kompromiss zwischen Aufwand und Zielerreichung zu sein und wurde deshalb der Begleitgruppe zur Umsetzung empfohlen (wurde schliesslich nicht so umgesetzt für die Testphase; s. Kap. 7.2).

26. Mai 2021

3. Szenario: Verzicht auf zweite Berechnungsstufe

- Eine Alternative zum zweistufigen Verfahren wäre der grundsätzliche Verzicht auf die zweite Berechnungsstufe. Ein einstufiges Verfahren mit einer Perimeteruntergrenze von 55 dBA tags und 45 dBA nachts (und derselben Schadensuntergrenze wie in den anderen Szenarien, d.h. 45 dBA tags und 40 dBA nachts) würde weiter zur Vereinfachung der Methodik beitragen. Die Konsequenz wäre, dass ein paar Massnahmen weniger umgesetzt würden.
- In der hypothetischen Annahme, dass alle die von uns betrachteten Beispiele nach dem 2. Anwendungsschritt eine knapp genügende Beurteilung aufweisen ($WTI=0.95$), würden aufgrund des Verzichts der 2. Stufe alle Beispiele eine (zu Unrecht) ungenügende Beurteilung erfahren, welche eine WTI-Differenz zwischen 1. und 2. Schritt von >0 aufzuweisen haben. Dies sind 103 der 171 untersuchten Beispiele, bzw. 60%.
- Wichtig: Diese 103 Beispiele mit einer WTI-Differenz zwischen 1. und 2. Stufe von >0 hätten nur eine sich verändernde Beurteilung zur Folge, wenn sie tatsächlich eine knappe Beurteilung aufweisen würden. In den realen Beispielen sind dies, wie oben erwähnt, nur 6 der 171 Beispiele, d.h. 4%.
- Die LSV differenziert zwischen bestehenden und neuen Anlagen; die Belastungsgrenzwerte sind bei Neuanlagen um 5 dBA strenger (sogenannte Planungswerte). Als Neuanlage wird eine lärmemittierende Infrastruktur bezeichnet, die nach dem 1. Januar 1985 (Datum des Inkrafttretens des USG) bewilligt wurde. Der in der LSV bei Neuanlagen festgehaltene höhere Schutzanspruch kommt sowohl bei der bestehenden als auch bei der neuen Methodik bei der Berechnung der Effektivität (Einhaltung der massgebenden Grenzwerte) zur Geltung. Des Weiteren wird für die neue Methodik empfohlen, im Falle einer Umsetzung des 3. Szenarios bei Neuanlagen die 2. Berechnungsstufe anzuwenden, falls der WTI-Wert nach der 1. Berechnungsstufe gerundete 0.9 beträgt (s. 2. Szenario).

5.4.3 Schutzanspruch von lärmbelasteten Gebäuden gemäss der LSV

Grundsätzlich wird die Perimeterausdehnung auf die neu tieferen Schadensuntergrenzen von 45 dBA tags und 40 dBA nachts v.a. aufgrund des Mehraufwands für die WTI-Berechnung kritisiert. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass durch die tiefere Perimeteruntergrenze Objekte für die WTI-Berechnung berücksichtigt werden, welche v.a. in ES III-Gebieten weit unterhalb der durch die LSV festgesetzten Belastungsgrenzwerte liegen. Dies führt dazu, dass Lärmbelastungen von <45 dBA an Gebäuden, die gemäss LSV keinen gesetzlichen Anspruch auf Sanierungsmassnahmen gemäss LSV Art. 13 aufweisen, einen stärkeren Einfluss auf den WTI haben als in der bestehenden Methode (Kopplung der Perimeteruntergrenze an die gesetzlich festgelegten Belastungsgrenzwerte durch die Definition «IGW-5»).

Der durchschnittliche Anteil des Nutzens von Wohneinheiten auf den Gesamtnutzen, welche ohne Massnahme keine IGW-Überschreitung aufweisen, liegt bei den untersuchten Praxisbeispielen nach der Anwendung der neuen Methodik bei 37% (2. Schritt) im Vergleich zu 23% nach Anwendung der bestehenden Methodik (Abb. 17). Dieser Anteil ist bei der neuen Methodik nach dem 1. Berechnungsschritt (35%) nur leicht niedriger als nach dem 2. Schritt.

Für die 9 Beispiele, die eine hohe WTI-Differenz zwischen 1. und 2. Berechnung aufweisen (>0.1), und die deshalb bei einem WTI-Grenzwert von gerundeten 0.9 nach dem 1. Schritt im hypothetischen Fall (WTI von 0.95 im 2. Schritt) zu Unrecht ungenügend beurteilt würden, liegt der Anteil Nutzen $>$ IGW ohne Massnahme am Gesamtnutzen bei durchschnittlich 66% (Abb. 15). Dies bedeutet, dass diejenigen Projekte, die bei der Anwendung der neuen Methodik aufgrund eines WTI von <0.85 nach dem 1. Schritt fälschlicherweise nicht für die Berechnung des 2. Schritts berücksichtigt werden, grundsätzlich eine geringe Betroffenheit relativ zum erzielten WTI aufweisen.

26. Mai 2021

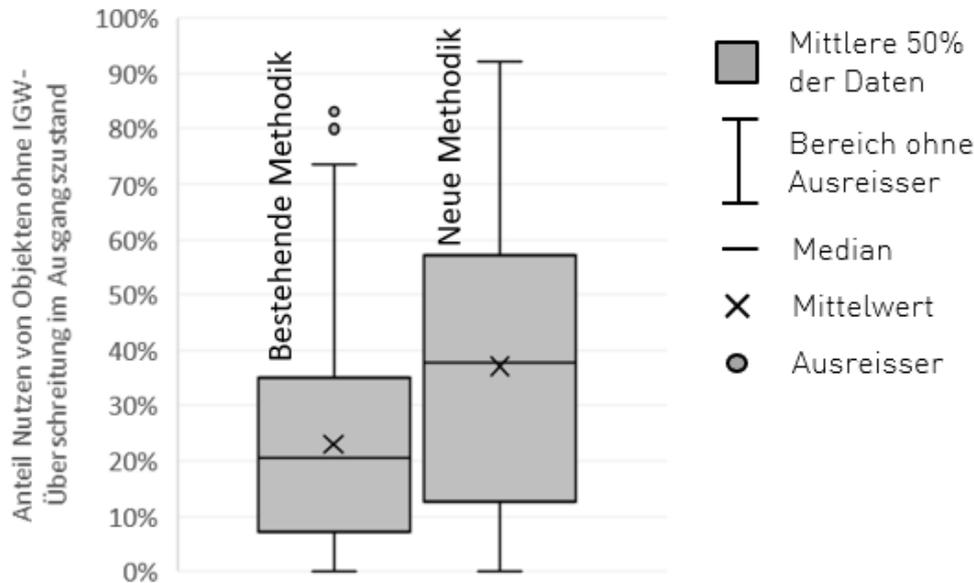


Abb. 17: Vergleich zwischen der bestehenden und neuen (nach 2. Schritt) Methodik in Bezug auf den Anteil des Nutzens von Objekten ohne IGW-Überschreitung im Ausgangszustand. Die Box-Plots verdeutlichen, dass dieser Anteil für die neue Methodik signifikant höher liegt.

5.4.4 Auswirkungen auf die Vollzugspraxis

Die Studie von ECOPLAN und Sinus (2018) hat ein zweistufiges Verfahren für die WTI-Beurteilung vorgeschlagen, die gemäss der Analyse der Praxisbeispiele durchaus Sinn ergibt. Es wird empfohlen, den WTI-Grenzwert nach dem 1. Schritt auf gerundete 0.9 festzusetzen, wie im 2. Szenario beschrieben. Dadurch wären bei unseren ausgewählten Beispielen alle 6 Projekte, die nach dem 2. Schritt eine genügende Beurteilung bekommen, identifiziert worden. Zudem hält sich der Zusatzaufwand in Grenzen, da bei den in der Studie untersuchten Beispielen nur für ca. 20% ein 2. Berechnungsschritt erforderlich wäre (wobei im Vorfeld bewusst auch viele «knappe» Beispiele ausgewählt wurden).

Bei zukünftig untersuchten Massnahmen, die durch diese Anpassung zu Unrecht eine ungenügende Beurteilung erfahren, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der Nutzen von Objekten auf den Gesamtnutzen, welche ohne Massnahme keine IGW-Überschreitung aufweisen, überdurchschnittlich hoch ist. Bei solchen Beispielen stellt sich ohnehin die Frage, ob im Falle einer Realisierung das im USG und in der LSV konkretisierte Vorsorgeprinzip nicht zu stark ausgereizt werden würde.

Als Alternative bietet sich das 3. Szenario an: bei bestehenden Anlagen wird auf den 2. Berechnungsschritt verzichtet, bei neuen Anlagen wird die 2. Stufe angewandt, falls der WTI nach der 1. Stufe knapp ungenügend ist (gerundete 0.9). Dies würde zwar dazu führen, dass etwas weniger Lärmschutzmassnahmen umgesetzt würden im Vergleich zu heute. Ein Vorteil wäre jedoch, dass die Methodik weiter vereinfacht würde.

5.5 Berücksichtigung des Gewerbes

Die bisherig präsentierten Ergebnisse berücksichtigen die Geschäftsliegenschaften sowohl für die Effizienz- als auch für die Effektivitätsberechnung. In dieser Studie wurde der Einfluss der (Nicht-)Berücksichtigung von Geschäftsliegenschaften auf den WTI für die vier in Kap. 3.3.3 skizzierten Lösungsvorschläge untersucht (s. detailliertere Erklärungen der vier Szenarien in Kap. 3.3.3):

- **(1) Status quo:** Berücksichtigung von Effektivität und Effizienz für Geschäftsliegenschaften.
- **(2) Keine Berücksichtigung für den WTI:** Keine Berücksichtigung von Effektivität und Effizienz für Geschäftsliegenschaften.

26. Mai 2021

- **(3) Keine Berücksichtigung für die Effizienz:** Keine Berücksichtigung von Effizienz für Geschäftsliegenschaften, aber Berücksichtigung von Effektivität.
- **(4) Keine Berücksichtigung für den Mietzinsnutzen – zweistufiges Vorgehen:**
 - 1. Schritt: Keine Berücksichtigung von Effektivität und Effizienz für Geschäftsliegenschaften.
 - 2. Schritt: Falls WTI knapp ungenügend (0.9): keine Berücksichtigung der Effizienz durch Mietzinsnutzen für Geschäftsliegenschaften, aber Berücksichtigung der Effektivität und der Effizienz durch Gesundheitsnutzen.

Für diese Analyse interessant sind nur diejenigen Praxisbeispiele, die Geschäftsliegenschaften im Perimeter aufweisen (49 von 168). Abbildung 18a zeigt im Effizienz-Effektivitätsdiagramm die Verteilung der untersuchten Beispiele mit Gewerbeanteil. Da die Graphik mit allen 49 Beispielen etwas unübersichtlich ist, wird in Abb. 18b anhand von drei Beispielen illustriert, wie sich die Berücksichtigung der Geschäftsliegenschaften auf die Effektivität und die Effizienz typischerweise auswirkt:

- **Beispiel 1:** Der Perimeter dieses Beispiels umfasst nur Geschäftsliegenschaften. Die Effizienz nimmt logischerweise ab, falls die Geschäftsliegenschaften nur noch für die Effizienz durch den Gesundheitsnutzen (Szenario 4; blau) bzw. gar nicht mehr für die Effizienz berücksichtigt werden (Szenario 3; gelb). Da nur Geschäftsliegenschaften vorhanden sind, sinkt die Effektivität auf 0%, falls das Gewerbe nicht mehr in die WTI-Berechnung einbezogen wird (Szenario 2; rosa). Dieses Beispiel weist nur in Szenario 1 einen genügenden WTI auf, d.h. wenn Geschäftsliegenschaften sowohl für die Effizienz als auch für die Effektivität berücksichtigt werden.
- **Beispiel 2:** Die Auswirkung der vier Szenarien auf die Punkte im Effizienz-Effektivitätsdiagramm sieht für einen typischen Perimeter (viel Wohnen, wenig Gewerbe) folgendermassen aus: die Effektivität bleibt oft sehr ähnlich oder identisch, währenddem die Effizienz leicht variiert. Wie auch im vorangehenden Beispiel ersichtlich, ist die Effizienz der Szenarien 2 (rosa) und 3 (gelb) identisch, da beide die Geschäftsliegenschaften für die Effizienzberechnung nicht berücksichtigen.

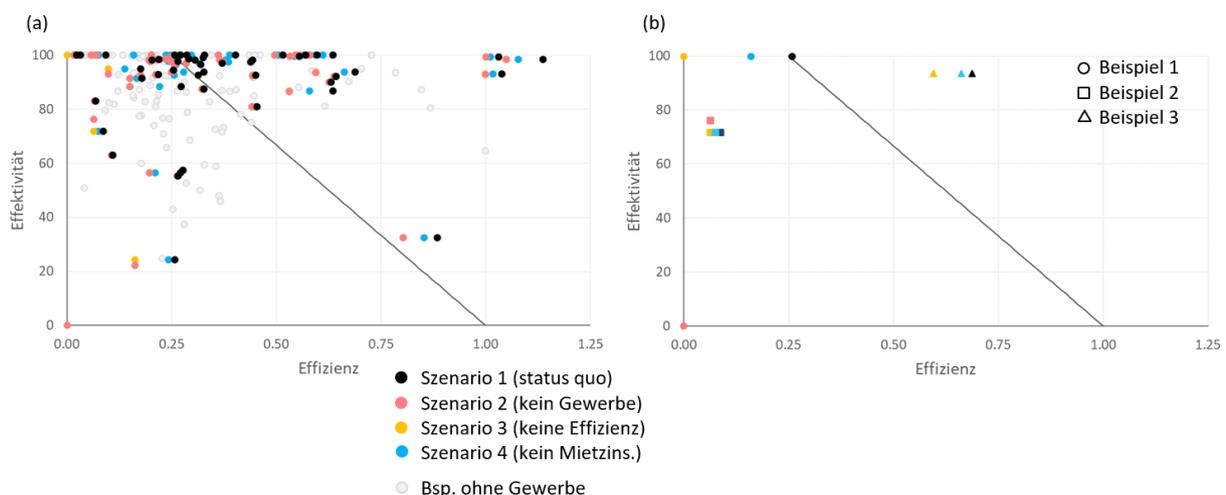


Abb. 18: Vergleich zwischen den WTI der 4 Szenarien, wobei jedes Szenario Geschäftsliegenschaften anders berücksichtigt (Szenario 1: Berücksichtigung von Effektivität und Effizienz; Szenario 2: keine Berücksichtigung für den WTI; Szenario 3: Berücksichtigung nur von Effektivität; Szenario 4: Berücksichtigung nur von Effektivität und Effizienz durch Gesundheitsnutzen). **(a)** Darstellung aller 49 Beispiele, welche Gewerbe im Perimeter haben (jeweils 4 Punkte pro Beispiel). Die Beispiele ohne Gewerbe sind grau dargestellt. **(b)** Darstellung drei typischer Beispiele, anhand dessen sich die Abhängigkeit des WTI vom gewählten Szenario besser veranschaulichen lässt.

26. Mai 2021

- **Beispiel 3:** Wie in Kap. 2.2.6 illustriert, empfehlen die Vorstudien, die Geschäftsliegenschaften für die Berechnung der Effizienz (im Gegensatz zur Effektivität) nicht mehr zu berücksichtigen. Dass die Berücksichtigung der Effektivität nicht immer zum Vorteil ist für den WTI, zeigt sich gut an diesem Beispiel. Da die Geschäftsliegenschaften nahe an der Lärmquelle sind und deshalb auch mit Lärmschutzmassnahmen eine Lärmbelastung über dem gesetzlich definierten Grenzwert aufweisen, hat ihr Einbezug für die Effektivitätsberechnung zur Konsequenz, dass die Effektivität sinkt. Der WTI wäre höher, wenn das Gewerbe gar nicht für die WTI-Berechnung berücksichtigt werden würde. Um diesen negativen Einfluss auf den WTI zu vermeiden, wird davon abgeraten, dieses Szenario umzusetzen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Nicht-Berücksichtigung des Mietzinsnutzen für die Effizienzberechnung (Szenario 4) nur 1 Beispiel von 49 von einer genügenden zu einer ungenügenden Beurteilung wechselt (dargestellt als Beispiel 1 in Abb. 18b). Falls das Gewerbe gar nicht für die Effizienz berücksichtigt wird (Szenario 3) bzw. nicht in die WTI-Berechnung einbezogen wird (Szenario 2), werden 3 Beispiele neu als ungenügend beurteilt.

Die Auswirkungen des Entscheids, inwiefern Gewerbe für den WTI berücksichtigt werden soll, ist – zumindest bei den ausgewählten Beispielen – gering. Falls das Gewerbe gar nicht berücksichtigt wird (Szenario 2), weisen nur 8 Beispiele eine um 0.05 tiefere Effizienz auf als für das Szenario mit Berücksichtigung des Gewerbes (Szenario 1) (Abb. 19). Natürlich ist aber der Einfluss stark abhängig davon, wie gross der Anteil des Gewerbes im Perimeter ist.

Aufgrund dieser Ergebnisse wird empfohlen, in einem 1. Schritt auf den Einbezug des Gewerbes zu verzichten. Im 2. Schritt soll die Effektivität und die Effizienz durch den Gesundheitsnutzen mitberücksichtigt werden. Analog zum vorangehenden Kapitel wird empfohlen, den 2. Schritt anzuwenden, falls der WTI eine knappe Beurteilung (0.9) aufweist. Bei einem hohen Gewerbeanteil (abhängig von der Lage bzw. Betroffenheit der Gewerbeliegenschaften) im Perimeter macht es jedoch Sinn, auch bei tieferen WTI-Werten einen 2. Schritt durchzuführen.

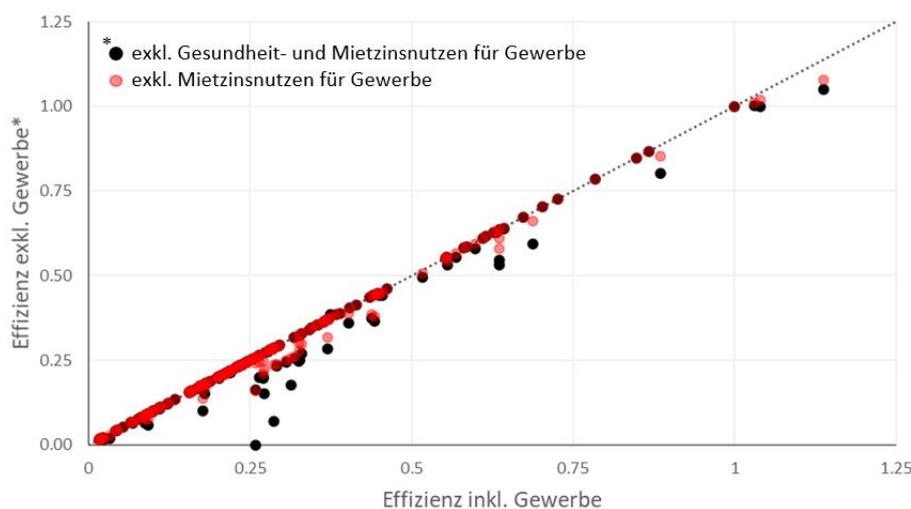


Abb. 19: Vergleich zwischen der Effizienz mit und ohne Einbezug Gewerbe (schwarz) bzw. ohne Einbezug Mietzinsnutzen (rot).

26. Mai 2021

5.6 Nähere Betrachtung der neu genügenden bzw. ungenügenden Beispiele

Falls in der neuen Methodik die Geschäftsliegenschaften für die Effektivität und den Gesundheitsnutzen einbezogen werden, resultiert sowohl für die bestehende als auch für die neue Methodik ein identischer Anteil an genügenden WTI-Praxisbeispielen (46%). Für 80% der Beispiele fällt die Beurteilung gleich aus, wobei je 10% der Beispiele neu als genügend bzw. ungenügend beurteilt werden (Abb. 20a).

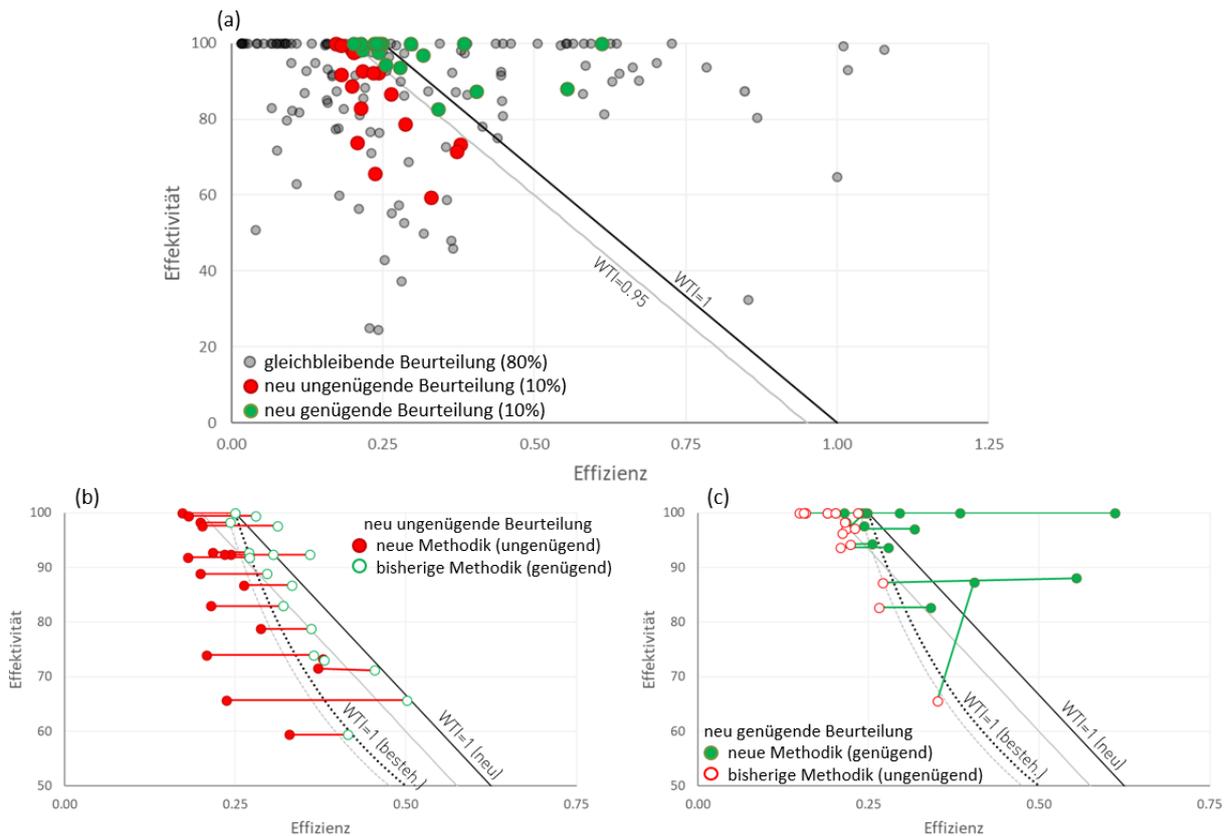


Abb. 20: (a) Veranschaulichung des neu berechneten WTI für die 168 Praxisbeispiele im Effizienz-Effektivitätsdiagramm. Die Beispiele mit einer gleichbleibenden Beurteilung (80%) im Vergleich zur bestehenden Methode sind grau dargestellt, die Beispiele mit einer neu ungenügenden (10%) bzw. neu genügenden (10%) Beurteilung sind rot bzw. grün dargestellt. Die Abb. (b) und (c) weisen jeweils einen vergrösserten Ausschnitt der Abb. (a) auf, wobei in (b) die neu ungenügenden und in (c) die neu genügenden Beispiele dargestellt sind (jeweils rot bzw. grün ausgefüllte Kreise). Sie sind jeweils mit einer Linie verbunden mit den Punkten der (entgegengesetzten) Beurteilung der bestehenden Methodik (jeweils offene Kreise).

Die Beispiele, bei welchen die Beurteilung ändert, sind in Abb. 20b und 20c nochmals in einem vergrösserten Ausschnitt dargestellt. Die offenen Kreise stellen die Effizienz/Effektivität mit der bestehenden Methodik dar und die ausgefüllten Kreise diejenige mit der neuen Methodik, wobei die Linien die zusammengehörenden WTI-Paare [bisher/neu] verbinden. Wichtig ist, dass für die Punkte, dessen Berechnung auf der bestehenden Methodik basiert, die bestehende WTI-Kurve gilt.

Die Gründe, wieso 10% der untersuchten Beispiele (17 von 168) eine **neu ungenügende Beurteilung** erfahren, sind vielfältig. Die durchschnittlich um 0.09 tiefere Effizienz (bei fast immer gleichbleibender Effektivität) lässt sich durch folgende Faktoren erklären (s. auch 20b):

- 16 dieser 17 Beispiele weisen einen dominanten Anteil an Liegenschaften in der ES II-Zone auf (>80%). Die neue Methode bevorteilt jedoch eher ES III-Zonen.

26. Mai 2021

- 9 dieser 17 Beispiele weisen eine lockere Bebauung auf (>138m² pro Wohneinheit; 3. Perzentile). Die neue Methode bevorteilt jedoch eher dichter bebaute Gebiete. (Nur eines der Beispiele weist eine eher dichtere Bebauung auf).
- 5 dieser 17 Beispiele weisen einen gewissen Gewerbeanteil auf, aufgrund dessen die neu berechnete Effizienz (keine Berücksichtigung des Mietzinsnutzens) um 0.03–0.05 reduziert ist.
- 2 dieser 17 Beispiele weisen eine fast identische Effizienz auf; aufgrund der neuen Formel liegen diese Punkte jedoch zwischen der bestehenden «WTI=0.95»-Kurve und der neuen «WTI=0.95»-Linie (Bereich Nr. 2 in Abb. 12) und sind deshalb neu ungenügend.

Die Gründe, wieso 10% der untersuchten Beispiele (auch 17 von 168) eine **neu genügende Beurteilung** aufweisen, sind ähnlich zu den oben genannten. Die um durchschnittlich 0.10 höhere Effizienz lässt sich durch folgende Beobachtungen erklären (s. auch 20c):

- 7 dieser 17 Beispiele weisen einen dominanten Anteil an Liegenschaften in der ES III-Zone auf (>80%), welche die neue Methode eher bevorteilt. (Nur 2 der Beispiele weisen einen dominanten Anteil an Liegenschaften der ES II-Zone auf).
- 6 dieser 17 Beispiele weisen eine dichte Bebauung auf (<91m² pro Wohneinheit; 1. Perzentile), welche die neue Methode eher bevorteilt. (Nur eines der Beispiele weist eine eher lockere Bebauung auf).
- 2 dieser 17 Beispiele weisen eine deutliche Zunahme der Effektivität aufgrund der wirkungsabhängigen Perimeterwahl auf (Liegenschaften werden nur in die WTI-Berechnung einbezogen, falls sie eine Mindestwirkung von 1 dBA aufweisen). Einer dieser Beispiele ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Effektivität der bestehenden und neuen Methodik gut in Abb. 20c erkennbar.
- Einen entscheidenden Einfluss hat auch die neue Formel, mit der der WTI-Einzelwert ermittelt wird. 5 der 17 Beispiele landen zwischen der bestehenden «WTI=0.95»-Kurve und der neuen «WTI=0.95»-Linie (Bereich Nr. 1 in Abb. 12), und sind deshalb aufgrund der neuen Formel genügend.

6. Effizienz-Effektivitäts-Diagramm

6.1 Das neue WTI-Diagramm

Die bestehende Formel zur Transformation von Effizienz/Effektivitäts-Punkten in einen WTI-Einzelwert hat den positiven Effekt, dass Massnahmen mit einer hohen Effektivität auch dann realisiert werden, falls diese rein volkswirtschaftlich betrachtet nicht effizient sind (Effizienz <1). Für eine genügende Massnahme (WTI >1) dürfen bspw. bei einer Effektivität von 100% die Kosten 4-mal höher sein als der Nutzen. Wie im Effizienz-Effektivitäts-Diagramm in Abb. 1a ersichtlich, kann die heutige Methode theoretisch dazu führen, dass Massnahmen mit einer hohen Effizienz aufgrund der geringen Effektivität nicht realisiert werden. Da es gemäss ECOPLAN und Sinus (2018) aus volkswirtschaftlicher Sicht keinen Sinn macht, Massnahmen nicht zu realisieren, deren Nutzen gleich oder höher sind als die Kosten, wurde eine Anpassung der WTI-Formel empfohlen:

$$WTI = \text{Effizienz} + \text{Effektivität} \cdot 0.75 \quad (5)$$

Durch die Anwendung dieser Formel reichen bei einer Effektivität von 100% ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0.25 für einen genügenden WTI – wie in der bestehenden Methodik. Der Vorteil der neuen Berechnung ist, dass Massnahmen mit einer Effizienz >1 immer einen genügenden WTI aufweisen.

26. Mai 2021

6.2 Nachteile des neuen WTI-Diagramms

6.2.1 Kleinere Bandbreite der WTI-Werte

Da die bestehende «WTI=1»-Kurve und die neu vorgeschlagene «WTI=1»-Linie im oberen Bereich des Effizienz-Effektivitätsdiagramms relativ ähnlich verlaufen (s. Abb. 2), stimmen die WTI-Punkte im kritischen Bereich um 1 herum relativ gut miteinander überein (Annahme: identische Effizienz-Effektivitäts-Datensatz; nur WTI-Formel ändert sich). Wie in Abb. 10 ersichtlich, führt die Anpassung der WTI-Formel jedoch dazu, dass die Bandbreite der resultierenden WTI-Werte kleiner wird. Bei bspw. 100%-Effektivität und einer Effizienz zwischen 0 und 1.5 erstreckt sich der WTI-Einzelwert für die bestehende Methodik von 0.0 bis 6.0, bei der vorgeschlagenen Methodik jedoch nur noch von 0.8 bis 2.3.

Durch die kleinere Bandbreite der WTI-Werte resultieren Ergebnisse, die gewöhnungsbedürftig sind. So hat eine Massnahme mit einer Effektivität von 80% und einer Effizienz von 0 einen besseren WTI (0.8) als eine Massnahme mit einer Effektivität von 60% und einer Effizienz von 0.25 (0.7). Zudem erschwert sich durch die kleinere Bandbreite die Kommunikation der Ergebnisse, da eine Vielzahl der resultierenden WTI-Kennzahlen einen Wert von knapp <1 oder >1 aufweist. Ein WTI von neu 0.9 impliziert beim bestehenden WTI, dass die Massnahme knapp ungenügend ist. Bei der neu vorgeschlagenen Methodik werden jedoch Massnahmen mit einem WTI von 0.9 ausgewiesen, welche durch die bestehende Formel einen Wert von 0.4–0.8 aufweisen. Es ist daher bei den Anwendern des WTI-Excel-Tools und den Behörden ein Umdenken gefordert, da bspw. ein WTI von 0.9 neu nicht mehr automatisch als «knapp ungenügend» zu bezeichnen ist.

6.2.2 Zuordnung in Beurteilungsklassen

Die Ergebnisse der bestehenden Methodik werden anhand ihrer WTI-Werte einer Beurteilungsklasse zugeordnet, die im Diagramm farblich dargestellt sind. Folgende Beurteilungsklassen sind vorhanden:

- schlecht: 0.0–0.5
- ungenügend: 0.5–1.0
- genügend: 1.0–2.0
- gut: 2.0–4.0
- sehr gut: >4.0

Durch die Veränderung der WTI-Formel und der dadurch resultierenden Reduktion der Bandbreite müssten eigentlich auch die Beurteilungsklassen entsprechend angepasst werden. Denn eine Massnahme mit einer Effektivität von 100% und einer Effizienz von 0.75 wird gemäss der bestehenden WTI-Formel als gut (3.0), gemäss der neu vorgeschlagenen Formel als genügend (1.5) beurteilt.

6.3 Alternative zum neuen WTI-Diagramm

Eine Möglichkeit, diese beiden Schwächen des neuen WTI-Diagramms aufzuheben, ohne jedoch ihre Vorteile zu tangieren, wäre, die WTI-Formel umzuformen. Das Ziel der neuen Formel ist es, die Bandbreite der resultierenden WTI-Werte wieder zu erhöhen, ohne jedoch die «WTI=1»-Linie zu verschieben (oder mit anderen Worten: eine Verschiebung der WTI-Isolinien 0.5, 1.0, 2.0 und 4.0, nicht jedoch der Isolinie 1.0).

Als Alternative empfiehlt sich folgende Formel:

$$WTI = \frac{Effizienz}{1 - 0.75 \cdot Effektivität} \quad (6)$$

26. Mai 2021

Das neue WTI-Diagramm (rechts), welches in Abb. 21 mit dem bestehenden (links) und dem durch ECOPLAN und Sinus (2018) empfohlenen Diagramm (mittig) verglichen wird, und hat folgende Eigenschaften:

- Die «WTI=1»-Linie ist exakt am gleichen Ort, wie diejenige von ECOPLAN und Sinus (2018).
- Bei 100%-Effektivität weisen die WTI-Isolinien 0.5, 1, 2 und 4 die exakt gleiche Effizienz auf, wie im bestehenden Diagramm. Ähnlich wie bisher, springt die Effizienz jeweils ums doppelte von Isolinie zu Isolinie, und zwar sowohl bei 100%-Effektivität (bisher und neu) als auch bei 0%-Effektivität (nur neu).
- Durch diese Anpassungen ist die Bandbreite der WTI-Werte sehr ähnlich zu bisher, ohne dass die WTI=1-Linie sich verschiebt. Die Kommunikation der WTI-Werte wird einfacher.

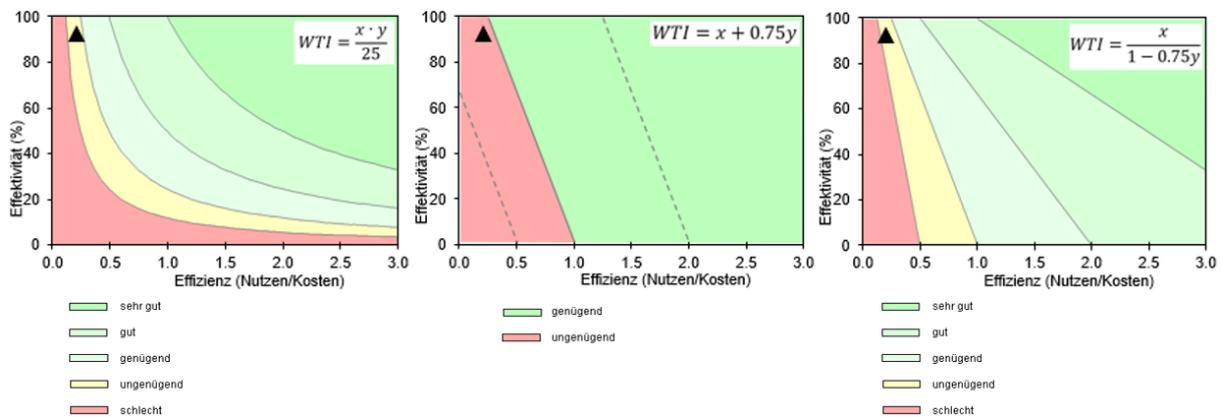


Abb. 21: WTI-Diagramme in Abhängigkeit der Gleichung, die benutzt wird, um die Effizienz-Effektivitäts-Punkte in WTI-Einzelwerte zu transformieren. Dargestellt ist das bestehende Diagramm (**links**), das durch ECOPLAN und Sinus (2018) vorgeschlagene Diagramm (**mittig**), und das in diesem Kapitel als Alternative präsentierte Diagramm (**rechts**), jeweils mit den entsprechenden Gleichungen. Die Grenzen der Beurteilungsklassen sind abhängig von der verwendeten Gleichung, und liegen bei den WTI-Werten 0.5, 1.0, 2.0 und 4.0. Für das in der Mitte präsentierte Diagramm wurden die Grenzen der Beurteilungsklassen mit gestrichelten Linien nur angedeutet, da sie noch einer Überarbeitung bedürfen (in der heutigen Form kommen sie so nicht zur Anwendung).

6.4 Vorschlag für ein WTI-Diagramm für Neuanlagen

In der bestehenden Methodik wird der in der LSV festgehaltene höhere Schutzanspruch von Liegenschaften, welche im Perimeter von Neuanlagen liegen, berücksichtigt, in dem die Schadensuntergrenzen um 5 dBA tiefer angesetzt wurden als für bestehende Anlagen (Belastungsgrenzwerte für Neuanlagen liegen um 5 dBA tiefer als für bestehende Anlagen). Zudem kommt dieser für Neuanlagen höhere Schutzanspruch auch bei der Berechnung der Effektivität (Einhaltung der massgebenden Grenzwerte) zur Geltung. Dadurch kann sich der maximale potenzielle Nutzen für Massnahmen bei Neuanlagen deutlich vergrössern, so dass sich die Beurteilung im Vergleich zu bestehenden Anlagen deutlich verbessert (zumindest, wenn ein kompletter Schutz möglich ist).

In der überarbeiteten Methodik von ECOPLAN und Sinus (2018) ist dieser Effekt deutlich kleiner, weil die Schadensuntergrenzen für die bestehende und neue Anlagen identisch sind. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde in Kap. 5.4.2 vorgeschlagen, im Falle einer Umsetzung des 3. Szenarios (Einstufiges Berechnungsverfahren bei bestehenden Anlagen) bei Neuanlagen die 2. Berechnungsstufe anzuwenden, falls der WTI-Wert nach der 1. Berechnungsstufe knapp ist. So verringert sich die Perimetergrenze für Neuanlagen um 10 dBA tags und 5 dBA nachts.

Ein Nachteil dieses Vorschlags ist, dass das Heruntersetzen der Perimeteruntergrenze für Neuanlagen nur einen Teil der Projekte bevorteilt, da viele Perimeter aus natürlichen Gründen (keine zusätzliche

26. Mai 2021

Bautiefe) nicht ausweitbar sind. So hätte die Ausdehnung des Perimeters für 40% der 168 untersuchten Praxisbeispiele keinerlei Auswirkung auf die Effizienz. Ein weiteres Manko ist der durch diese Anpassung generierte Mehraufwand in der Projektbearbeitung.

Eine Alternative, die WTI-Beurteilung für alle Berechnungen für Neuanlagen zu bevorteilen, ist es, die im vorangegangenen Kapitel vorgestellte Formel leicht anzupassen:

$$WTI = \frac{2 \cdot \text{Effizienz}}{1 - 0.75 \cdot \text{Effektivität}} \quad (7)$$

Im Grundsatz ist die Formel sehr ähnlich zu derjenigen für bestehende Anlagen (Gleichung (6) auf Seite 39), mit Ausnahme des Koeffizienten (die Zahl 2) im Zähler des Bruchs. Eine Verdoppelung der Effizienz, wie in der Gleichung vorgeschlagen, bedeutet praktisch gesehen, dass für Massnahmen bei Neuanlagen doppelt so viel Investitionen getätigt werden «dürfen» als für bestehende Anlagen. Als Konsequenz verschieben sich die Beurteilungsklassen im WTI-Diagramm um eine Position nach «links», bzw. werden jeweils um eine Klasse «aufgestuft» (s. Abb. 22). Für eine genügende Beurteilung einer geprüften Massnahme würde somit bei Neuanlagen bei einer Effektivität von 100% (maximale Zielerreichung) ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 8:1 und bei einer Effektivität von 50% ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 4:1 reichen.

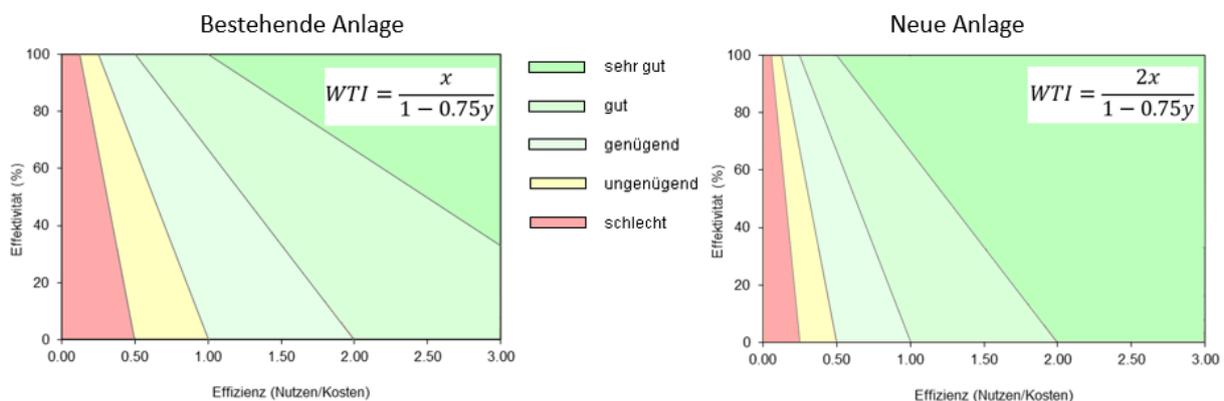


Abb. 22: Alternativer Vorschlag für WTI-Diagramme für bestehende und neue Anlagen.

Der Koeffizient im Zähler des Bruchs kann grundsätzlich beliebig gewählt werden; denkbar wäre z.B. auch eine 1.5-fache Erhöhung der Effizienz. Falls diese Idee einer Anpassung der Formel für bestehende Anlagen (Kap. 6.3) und neue Anlagen (Kap. 6.4) als prüfenswert erscheint, kann in einem nächsten Schritt die Auswirkungen der Wahl des Koeffizienten auf den WTI-Wert anhand von Praxisbeispielen untersucht werden.

7. Testphase

7.1 Ziel

Nachfolgend an die Anpassung des WTI-Excel-Tools folgte eine Testphase, in der die Methodik durch Teilnehmer auf ihre Funktionsweise, Übersichtlichkeit, und Bedienfreundlichkeit geprüft wurde. Die Testuser haben Praxisbeispiele, welche Sie in der Vergangenheit mittels der bestehenden WTI-Methodik berechnet hatten, mit dem neuen WTI-Excel-Tool berechnet. Das verschickte Excel-Tool erlaubte zudem einen Vergleich zwischen der bestehenden und angepassten Methodik.

26. Mai 2021

Folgende Teilnehmer haben an der Testphase teilgenommen:

- Dejan Milo, Fachstelle Lärmsanierung, Abteilung Tiefbau Kanton Aargau
- Martin Beusch, Fachstelle Lärmschutz, Tiefbauamt Kanton Bern
- Cyril Durussel, Département des infrastructures et des ressources humaines, Kanton Waadt
- Michael Hafner, Lärmmanager, SBB AG
- Lionel Rey, A. Aegerter & Dr. O Bosshardt AG (Bearbeitung Projekte ASTRA)
- Massimo Gottardi, EcoControl SA (Bearbeitung Projekte ASTRA)

Zusätzlich zum neuen Excel-Tool wurde den Teilnehmern ein Fragebogen ausgeteilt, mit Fragen zur getesteten Methodik, zum WTI-Diagramm (konkret eine Umfrage zu Abb. 21 dieses Berichts), der Übersichtlichkeit und Bedienfreundlichkeit des neuen Excel-Tools und einigen Fragen zur Wirkungsweise der Effektivität (s. Fragebogen in Anhang 1).

7.2 Neues WTI-Excel-Tool

Anhand der Erkenntnisse der Untersuchung und Inputs durch das BAFU und der Begleitgruppe wurde ein neuer Entwurf des WTI-Excel-Tools erstellt. Umgesetzt wurden folgende Punkte:

- Der berechnete Nutzen ist abhängig vom Mietzinsnutzen und vom Gesundheitsnutzen.
- Der Mietzinsnutzen wird berechnet wie bisher, allerdings mit aktualisierten Parametern.
- Der Gesundheitsnutzen ist abhängig von den durchschnittlichen Gesundheitskosten pro dBA und Person) und der Personenzahl, der dem Berechnungspunkt zugewiesen wurde.
- Auf der Kostenseite wird der Kapitalzinssatz von 3% auf 1.9% reduziert, um dem aktuellen Zinsumfeld Rechnung zu tragen. Zudem belaufen sich die durchschnittlichen Kosten von Lärmschutzwänden neu auf Fr. 1'500.-, unabhängig der Komplexität des Untergrunds / Gebiets.
- Für die Berechnung des Mietzinsnutzens werden Geschäftsliegenschaften nicht mehr berücksichtigt – dies im Gegensatz zum Gesundheitsnutzen und der Effektivität. Dies entspricht keinem der 4 geprüften Szenarios in Kap. 5.5. Sie ist jedoch vergleichbar mit Szenario 4, bei welchem, im 2. Schritt der Mietzinsnutzen nicht mehr für die Berechnung der Effizienz berücksichtigt wurde.
- Es werden nur Objekte im Wirkungsbereich der Massnahme berücksichtigt, welche eine Wirkung von mindestens 1 dBA aufweisen.
- Die Schadensuntergrenze ist unabhängig der Empfindlichkeitsstufe und der lärmrechtlichen Einordnung (bestehende / neue Anlage) und liegt bei 45 dBA tags und 40 dBA nachts.
- Für bestehende Anlagen liegt die Untergrenze des Untersuchungsperimeters bei 55 dBA tags und 45 dBA nachts (1. Berechnungsstufe). Bei den Gebäuden im Untersuchungsperimeter wird der Schaden jedoch trotzdem bis an die Schadensuntergrenze von 45 dBA tags und 40 dBA nachts berechnet. Es kommt also für bestehende Anlagen kein zweistufiges Verfahren zur Anwendung (Szenario 3).
- Für neue Anlagen kommt teilweise ein zweistufiges Verfahren zur Anwendung. In einer 1. Stufe soll die Untergrenze des Untersuchungsperimeters bei 55 dBA tags und 45 dBA nachts gelegt werden, um den Berechnungsaufwand in Grenzen zu halten (Schaden wird trotzdem bis 45 dBA tags und 40 dBA nachts berechnet). Falls der WTI knapp ungenügend ist (≥ 0.9), soll in einer 2. Stufe der Perimeter bis an die Schadensuntergrenze (45 dBA tags und 40 dBA nachts) ausgeweitet werden (Szenario 3 in Kap. 5.4.2).
- Mit dem Ziel, dass alle effizienten Massnahmen (Nutzen-Kosten-Verhältnis von ≥ 1) einen genügenden WTI (≥ 1) aufweisen und unter Beibehaltung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses von 1:4 bei vollständiger Zielerreichung (100% Effektivität), wird die WTI-Formel gemäss dem ECOPLAN und Sinus (2018)-Vorschlag angepasst.

26. Mai 2021

Grundsätzlich sieht das neue WTI-Excel-Tool für die Testphase ähnlich aus wie das bestehende Tool, mit derselben Eingabemaske, wobei Massnahmen für bestehende und neue Anlagen im gleichen Excel-Tool geprüft werden können. Neu ist die Eingabe der Wohnungseinheiten nicht mehr fakultativ, sondern zwingend erforderlich, da die Berechnung des Gesundheitsnutzens darauf basiert. Der Zugriff auf die erforderlichen Daten des eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) kann über den Kartenviewer von *maps.geo.admin.ch* erfolgen, bei der sich die GWR-Daten (und auch die Flächen aller Gebäude) des Bundesamts für Statistik für jedes Gebäude einsehen lassen.

7.3 Auswahl an Praxisbeispielen

Zusätzlich zu den durch G+P AG 168 geprüften Praxisbeispielen wurden durch die Testuser weitere 155 Beispiele untersucht, die ursprünglich im Auftrag des ASTRA, der SBB oder der Kantone Aargau, Bern oder Waadt erarbeitet wurden. 28 der 155 Beispiele betreffen Eisenbahnlärm, 30 Beispiele betreffen Lärm der Kantonsstrasse, und der Rest Lärm der Nationalstrasse. Die geprüften Massnahmen umfassen sowohl Lärmschutzwände als auch lärmarme Beläge.

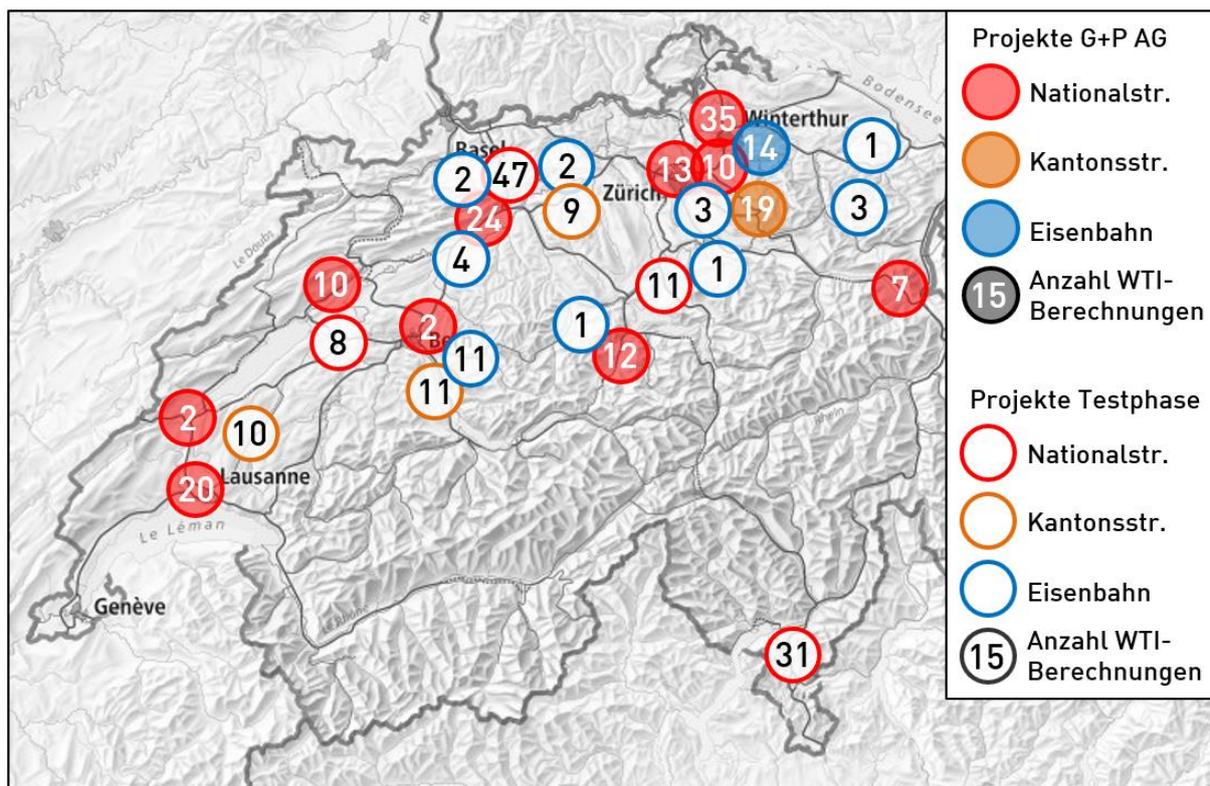


Abb. 23: Räumliche Verteilung der WTI-Berechnungen, aufgeteilt nach Projekten/Regionen. Die Zahlen geben die Anzahl untersuchter WTI-Berechnungen pro Projekt/Region wieder, wobei differenziert wird zwischen Hauptuntersuchung und Testphase.

Durch die Prüfung dieser Praxisbeispiele durch die Testuser konnte eine bessere Abdeckung der Schweiz erreicht werden, mit Berücksichtigung von Projekten aus insgesamt 14 Kantonen.

Im Vergleich zu den durch G+P AG im Vorfeld der Testphase untersuchten Beispielen liegt der Anteil an Beispielen mit einem knappen WTI deutlich tiefer. Für die durch G+P AG ausgewählten Beispielen wiesen fast 80% einen WTI zwischen 0.5 und 2.0 (ungenügend/genügend), wobei über ein Drittel knapp ungenügend bzw. knapp genügend waren. Für die Beispiele der Testphase wiesen dagegen «nur» etwas weniger

26. Mai 2021

als 50% einen WTI zwischen 0.5 und 2.0 auf, wobei ca. 20% als knapp beurteilt wurden. Durch die geringere Anzahl an Beispielen sind weniger neu als genügend/ungenügend beurteilte Beispiele zu erwarten.

Um einen repräsentativen Vergleich zwischen allen Beispielen zu ermöglichen, wurden einige wenige Anpassungen an den zugesandten Berechnungen vorgenommen. Für die Beispiele des Kanton Waadt wurde der zu den Kosten verrechnete Aufwand des Lärmsanierungsberichtes entfernt. Bei den Projekten der SBB wurden bei der Grundvariante «bestehender WTI» die Kosten für eine LSW auf Fr. 1'300.- anstatt der durch die SBB gewählten Fr. 1'500.- gesetzt. Bei Gewerbeliegenschaften wurde zudem der nächtliche Beurteilungspegel im Register 'Lärmbelastungen' gelöscht.

7.4 Ergebnisse der Testphase

Die folgende Präsentation der Ergebnisse hat einerseits zum Ziel, den Unterschied zwischen den Datensätzen der Hauptuntersuchung und der Testphase aufzuzeigen. Andererseits wird auch auf den gesamten Datensatz eingegangen, da dieser neu nur auf der 1. Berechnungsstufe basiert (Perimeteruntergrenze 55 dBA tags / 45 dBA nachts) und auch die Geschäftsliegenschaften gemäss einer Variante beurteilt werden, welche in keinem der Szenarios der Hauptuntersuchung berücksichtigt wurde.

Für die nachfolgend präsentierte Analyse in den Kapiteln 7.4 und 7.5 werden die Geschäftsliegenschaften für den gesamten Nutzen mitberücksichtigt. Erst in Kap. 7.6 wird auf den Einfluss der Geschäftsliegenschaften (bzw. der Nichtberücksichtigung der Geschäftsliegenschaften für den Mietzinsnutzen) auf die Effizienz und den WTI eingegangen.

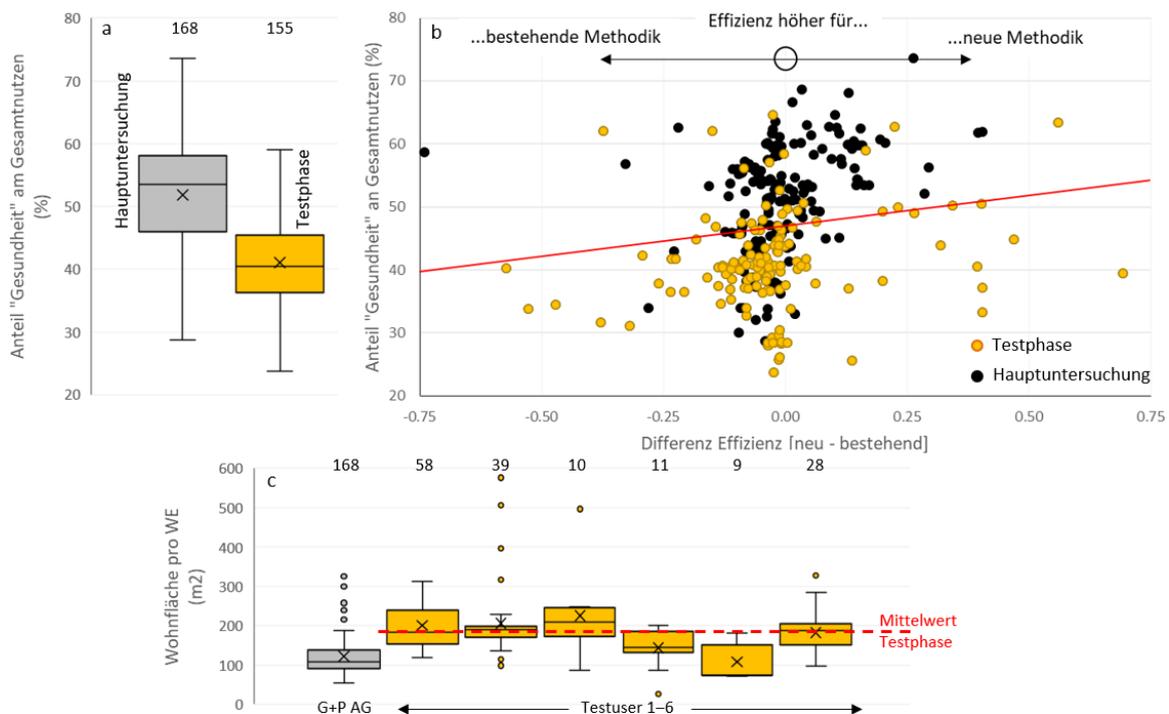


Abb. 24: Der Anteil des Gesundheitsnutzen am Gesamtnutzen (a) dargestellt in Box-Plots (s. allg. Erläuterungen zu Box-Plots in Abb. 17; die Gesamtanzahl der Beispiele ist jeweils über dem Boxplot notiert), und (b) in Abhängigkeit der Differenz zwischen der bestehenden und neu vorgeschlagenen Methodik. Die rote Linie zeigt den linearen Trend des gesamten Datensatzes (je höher der Anteil Gesundheitsnutzen, desto höher die Effizienz der neuen Methodik). In Abb. (c) ist die Verteilung der durchschnittlichen Wohnfläche pro WE für jeden Anwender des Excel-Tools dargestellt.

26. Mai 2021

7.4.1 Effizienz

Einer der auffälligsten Aspekte der Ergebnisse der Testphase ist der im Mittel massgeblich tiefere Anteil des Gesundheitsnutzens am Gesamtnutzen (41%) im Vergleich zur Hauptuntersuchung (52%) (s. Abb. 24a). Der Grund für diese Tendenz ist die im Mittel deutlich höhere Fläche/WE (Wohnfläche pro Wohneinheit) für die Beispiele der Testphase (191m²) im Vergleich zur Hauptuntersuchung (122m²), wobei sich die durchschnittlichen Werte je nach Testuser ziemlich unterscheiden (108–206 m²/WE; s. Abb. 24c). Ob sich diese Differenz auf methodische Aspekte zurückzuführen lässt (unterschiedliche Handhabung bei der Definition der lärmbelasteten Geschossfläche oder bei der Anzahl Wohneinheiten) oder auf reale Unterschiede bei den Gebäuden in den entsprechenden Perimetern, lässt sich anhand der zugesandten Daten nicht abschliessend beurteilen.

Wie in Abb. 6b ersichtlich, korreliert die Effizienz der neuen Methodik stark mit den beiden Parametern 'Anteil «Gesundheit» am Gesamtnutzen' und 'Fläche/WE': je höher der Anteil Gesundheitsnutzen bzw. je höher die Fläche/WE, desto höher ist die Effizienz. Dies hat in Bezug auf die dargestellten Daten in Abb. 24b folgende Konsequenz:

- Die rote Trendlinie zeigt, dass eine leichte Korrelation vorhanden ist zwischen der Differenz der Effizienz der bestehenden und neuen Methodik, und des Anteils des Gesundheitsnutzens: je höher der Anteil Gesundheitsnutzen, desto höher ist die Effizienz im Vergleich zur bestehenden Methodik.
- Bei den Beispielen der Hauptuntersuchung ist die Effizienz sowohl für die bestehende als auch für die neue Methode praktisch identisch. Für die Beispiele, die für die Testphase untersucht wurden, liegt die Effizienz für die neue Methodik im Mittel um 0.09 tiefer als für die bestehende Methodik (in der Abb. 24b liegen die «gelben Punkte tendenziell weiter links als die schwarzen Punkte).

Die im Mittel gute Übereinstimmung der bestehenden und neuen Effizienz für die Beispiele der Hauptuntersuchung zeigt sich auch in Abb. 25 (schwarze Punkte). Die Punkte der Testphase (gelb) liegen im Gegensatz dazu in der Tendenz eher unterhalb der gestrichelten Identitätslinie, welche illustriert, wie der Vergleich zwischen zwei identischen Datensätzen aussehen würde.

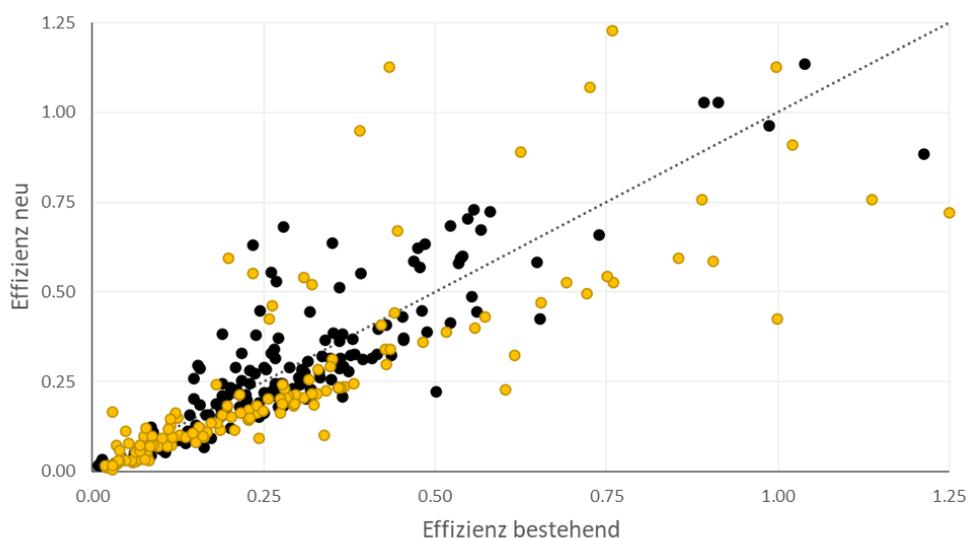


Abb. 25: Vergleich zwischen der bestehenden und der neu berechneten Effizienz für die Beispiele der Hauptuntersuchung und der Testphase. Die Daten der Hauptuntersuchung unterscheiden sich insofern von denjenigen in Abb. 7, dass hier der Perimeter auf 55 dBA tags / 45 dBA nachts begrenzt ist (wie für die Testphase für bestehende Anlagen definiert).

Wie in Kap. 5 diskutiert, kann der in Abb. 25 ersichtliche Unterschied zwischen der bestehenden und neuen Effizienz teilweise mit den Parametern *Empfindlichkeitsstufe* und *Fläche pro Wohneinheit* (bzw.

26. Mai 2021

Wohndichte) erklärt werden. Die gesammelten Daten der Hauptuntersuchung und der Testphase wurden in Abb. 26 analog zu Abb. 8 differenziert nach diesen beiden Parametern dargestellt, wobei wiederum nur die Extremen eingefärbt wurden. Die in der Abb. 26 ersichtlichen Tendenzen bestätigen die Hypothese, dass die in Abb. 25 beobachtete Varianz zwischen bestehender und neuer Effizienz zu grossen Teilen mit den beiden Parametern zu erklären ist, wobei Praxisbeispiele mit hohem ES III-Anteil und einer eher hohen Wohndichte eine höhere Effizienz erzielen als bis anhin.

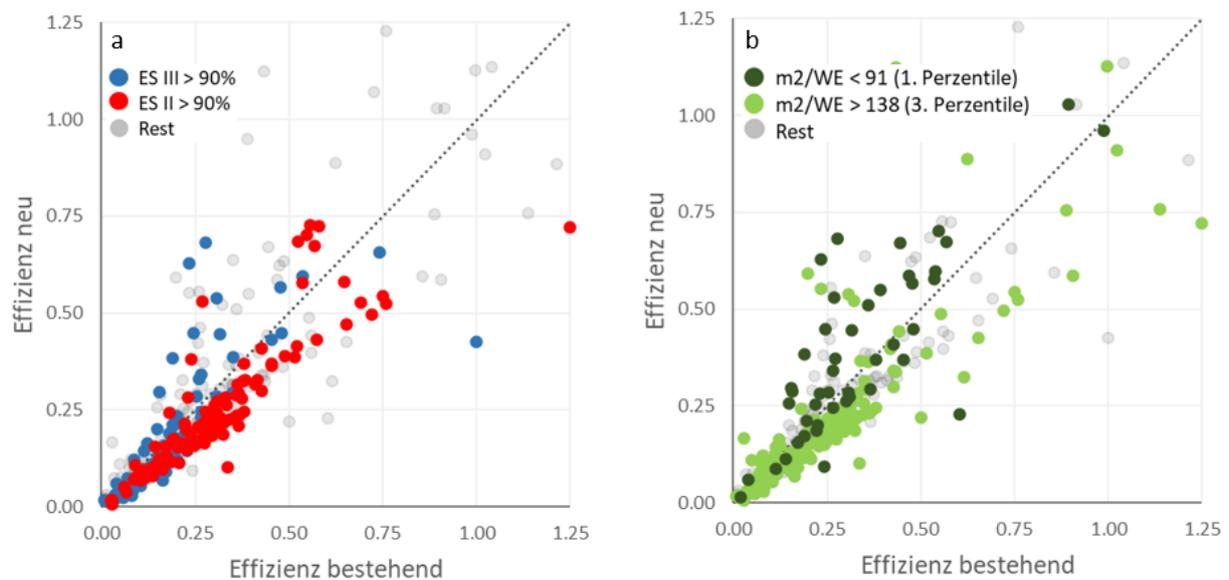


Abb. 26: Vergleich zwischen der bestehenden und der neuen Effizienz über geprüften 323 Praxisbeispiele hinweg. In Abb. (a) resp. (b) ist die Abhängigkeit der Effizienz zur Empfindlichkeitsstufe resp. zur Wohndichte (m^2 pro Wohneinheit) dargestellt. Es gilt zu bemerken, dass sich die Berechnung der Perzentile nicht auf den gesamten Datensatz bezieht, sondern nur auf die Daten der Hauptuntersuchung. Die wenigen Punkte mit einer Effizienz über 1.25 sind der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt.

7.4.2 Effektivität

Im Gegensatz zur Effizienz haben die methodischen Anpassungen nur eine begrenzte Auswirkung auf die Effektivität. Die Nichtberücksichtigung von Objekten, bzw. Fassaden oder Etagen von Objekten, welche eine Wirkung <1 dBA aufzuweisen haben, hat nur bei insgesamt 14% der 323 Praxisbeispiele eine Auswirkung auf die Effektivität. Es wurden jedoch deutliche Unterschiede festgestellt zwischen Hauptuntersuchung und Testphase:

- Bei den Praxisbeispielen der Hauptuntersuchung liegt der Anteil der Beispiele mit veränderter Effektivität (7%) deutlich tiefer als bei den Beispielen der Testphase (23%).
- Bei den Praxisbeispielen der Hauptuntersuchung liegt der Grund für die erhöhte Effektivität fast ausschliesslich bei Etagen, die bei der bestehenden Methodik berücksichtigt wurden, bei der neuen Methodik jedoch ignoriert werden. Die Diskrepanz in der Effektivität kann deshalb insbesondere in urbanen Gebieten mit hohen Gebäuden beobachtet werden (in den vorliegenden Fällen für Praxisbeispiele in der Agglomeration Lausanne und Zürich).
- Bei den Praxisbeispielen der Testphase ist die Berücksichtigung von Etagen ohne Wirkung nur selten der Hauptgrund für eine erhöhte Effektivität. Vielmehr sind es oft Objekte (oder Objektteile), die kaum oder keine Massnahmenwirkung aufzuweisen haben. Grundsätzlich sollten jedoch nur diejenigen Objekte in den Perimeter einbezogen werden, die als Schutzziel definiert wurden, da ansonsten die Effektivität – und konsequenterweise auch der WTI – unplanmässig reduziert wird.

26. Mai 2021

Diese Ausführungen zeigen nochmals die Vorteile einer Methodik, welche nur Objekte bzw. Objektteile einbezieht, für die eine Massnahme eine Wirkung von >1 dBA erzielt. Dadurch werden einerseits diejenigen Etagen, welche keine Massnahmenwirkung zeigen, und somit nicht als Schutzziel definiert wurden, nicht in die Berechnung des WTI einbezogen. Zudem werden unbeabsichtigte Fehler bei der Perimeterwahl automatisch korrigiert, indem ganze Objekte (z.B. seitlich neben Lärmschutzwand oder am Hang) mit <1 dBA Wirkung nicht für die WTI-Berechnung berücksichtigt werden.

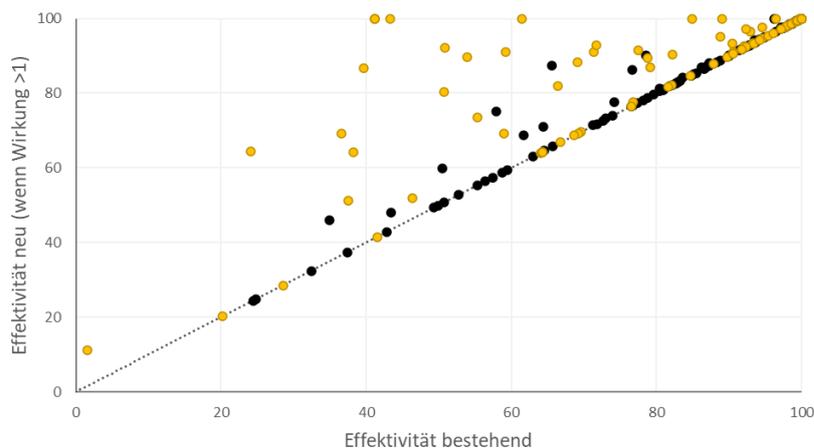


Abb. 27: Vergleich zwischen der bestehenden und der neuen Effektivität, welche nur noch Berechnungspunkte berücksichtigt, welche eine Massnahmenwirkung von >1 dBA aufweisen. Die gestrichelte diagonale Linie entspricht der Identitätslinie (oder Gleichheitslinie), welche illustriert, wie der Vergleich zwischen zwei identischen Datensätzen aussehen würde; 86% aller Punkte liegen auf dieser Linie, d.h. zeigen keinerlei Veränderung. Die Effektivität wird durch die angepasste Methodik v.a. für Beispiele der Testphase teilweise um mehr als 50 Prozentpunkte erhöht.

7.4.3 WTI-Wert

In diesem Unterkapitel soll noch einmal der Unterschied zwischen den WTI-Werten veranschaulicht werden, welche einerseits mit der bestehenden und andererseits mit der neuen Methodik berechnet wurde. Insbesondere gilt das Hauptaugenmerk auf den Unterschied zwischen den WTI-Werten der Hauptuntersuchung und der Testphase. In Abb. 28 ist ersichtlich, dass der lineare Trend der Hauptuntersuchung (schwarz) und der Testphase (gelb) beinahe gleich sind.

Einer der wichtigsten Erkenntnisse der Hauptuntersuchung war, dass 80% der 168 Beispiele eine gleichbleibende Beurteilung aufzuweisen hatten, und je 10% neu genügend bzw. ungenügend wurden (Annahme damals: Perimeteruntergrenze von 45 dBA tags / 40 dBA nachts). Nachfolgend werden die Ergebnisse der Testphase in Bezug auf den WTI-Wert zusammengefasst:

- Insgesamt bleibt bei 85% der Beispiele die Beurteilung identisch mit derjenigen der bestehenden WTI-Methodik (Hauptuntersuchung: 80%, Testphase 90%). Der Grund für den gestiegenen Anteil liegt auch daran, dass in der Testphase viele Beispiele geprüft wurden, welche nicht knapp genügend oder ungenügend waren, so dass ein Wechsel der Beurteilung seltener zu erwarten ist.
- Insgesamt sind 27 (8%) bzw. 23 der 323 Beispiele neu ungenügend bzw. genügend. Der Anteil der neu genügenden Beispiele hat etwas stärker abgenommen. Ein Grund ist einerseits, dass die Perimetergrenze für bestehende Anlagen reduziert wurde im Vergleich zur Hauptuntersuchung, als die 2. Berechnungsstufe noch berücksichtigt wurde (Abnahme der Effizienz). Der Hauptgrund liegt jedoch an den Beispielen der Testphase, bei denen aufgrund der im Vergleich zur bestehenden Methodik etwas tieferen Effizienz weniger Beispiele neu als genügend beurteilt wurden als umgekehrt.
- Falls nur knappe Beispiele berücksichtigt werden (WTI von 0.8 bis 1.2 für die bestehende Methodik), verbleiben 47% der 94 Beispiele bei der ursprünglichen Beurteilung; 29% der Beispiele werden neu ungenügend, und 24% der Beispiele werden neu genügend. Auch hier ist die Quote bei den Beispielen der Hauptuntersuchung ausgeglichener als für die Beispiele der Testphase.

26. Mai 2021

- Mitentscheidend sind sowohl die Veränderungen der Effizienz als auch diejenigen der Effektivität:
 - die durchschnittliche Differenz in der Effizienz ist insbesondere bei neu ungenügender Beurteilung für die Beispiele der Testphase (-0.25) höher als für die Beispiele der Hauptuntersuchung (-0.10).
 - die aufgrund der wirkungsabhängigen Perimeterauswahl neu höhere Effektivität führt insbesondere für die Beispiele der Testphase in einigen Fällen zu einer besseren Beurteilung (s. Zunahme der Effektivität, ausgewiesen in Prozentpunkten in Abb. 28).

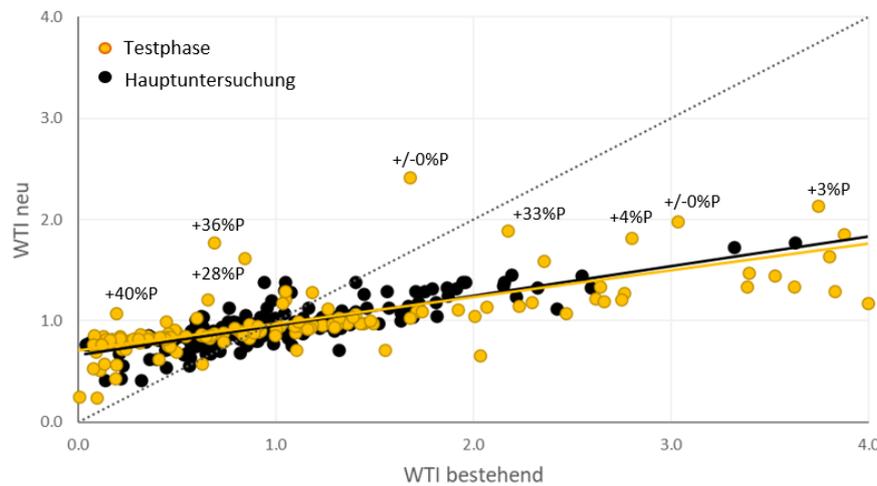


Abb. 28: Vergleich zwischen dem bestehenden und neuen WTI-Wert. Die gelb hinterlegten Punkte sind Beispiele aus der Testphase, wobei der lineare Trend als gelbe Linie dargestellt ist. Einige Fallbeispiele der Testphase haben einen weit höheren WTI als zu erwarten, wobei dies oft auf eine markante Zunahme der Effektivität zurückzuführen ist. Für einige Punkte, welche über der Trendlinie liegen, wurde die Erhöhung der Effektivität aufgrund der Anwendung der neuen Methodik festgehalten (%P=Prozentpunkt).

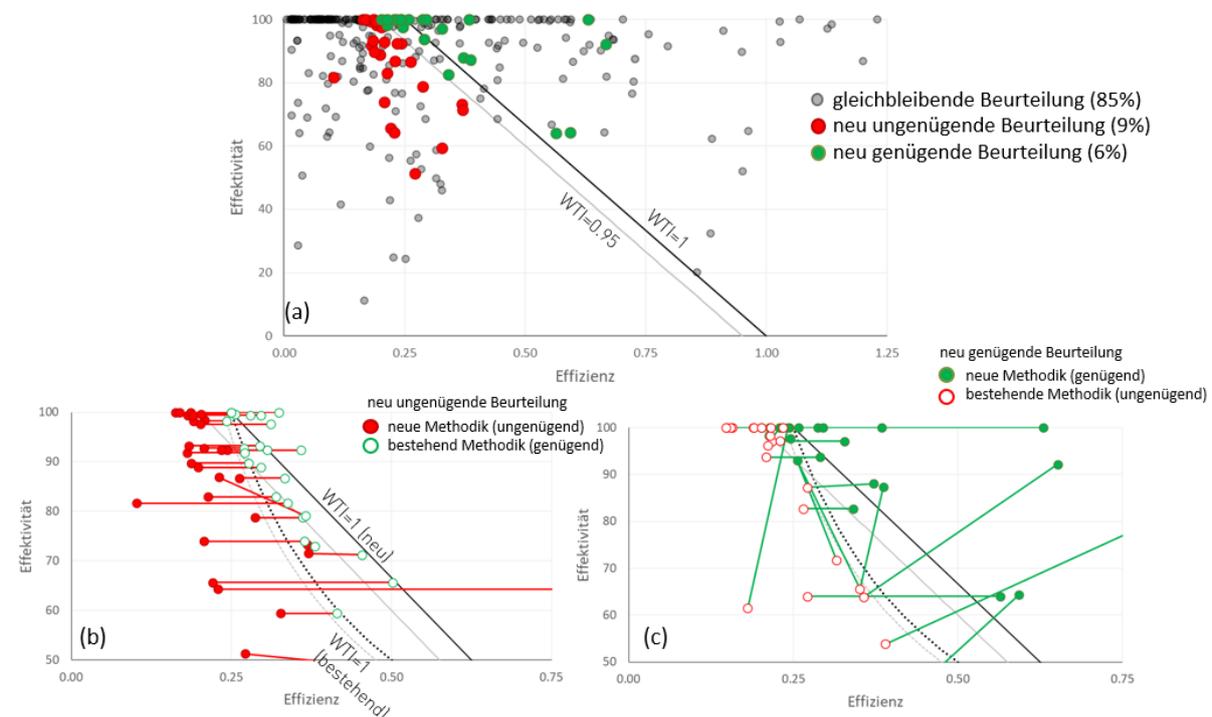


Abb. 29: (a) Veranschaulichung des neu berechneten WTI für die 323 Praxisbeispiele im Effizienz-Effektivitätsdiagramm. Die Beispiele mit einer gleichbleibenden Beurteilung (85%) im Vergleich zur bestehenden Methode sind grau dargestellt, die Beispiele mit einer neu ungenügenden (8%) bzw. neu genügenden (7%) Beurteilung sind rot bzw. grün dargestellt. Die Abb. (b) und (c) weisen jeweils einen vergrösserten Ausschnitt der Abb. (a) auf, wobei in (b) die neu ungenügenden und in (c) die neu genügenden Beispiele dargestellt sind (jeweils rot bzw. grün ausgefüllte Kreise; s. weitere Erklärungen zu den Graphiken (b) und (c) in Abb. 20).

26. Mai 2021

Die Gründe, wieso 15% des gesamten Datensatzes (50 von 323), bzw. 53% der untersuchten Beispiele mit knappem WTI bei der bestehenden WTI-Methodik, eine andere Beurteilung erfahren, wurden eingehend in Kap. 5.6 diskutiert. Hauptsächlich verantwortlich ist die Empfindlichkeitsstufe und die Wohn-dichte (beide mit Auswirkungen auf die Effizienz). In Abb. 20c ist ersichtlich, dass die neu genügende Beurteilung bei 6 Beispielen auch darauf zurückzuführen ist, dass die Effektivität aufgrund der Voraussetzung einer Mindestwirkung von 1 dBA stark zugenommen hat. Und wie in den Abb. 29b und 29c ersichtlich, kommt es bei einigen wenigen Beispielen auch aufgrund der veränderten Lage der «WTI=1»-Linie zu einem Wechsel der Beurteilung.

7.5 Eisenbahnlärm

Etwas eingehender wird hier auf die Praxisbeispiele des Eisenbahnlärms eingegangen, da diese durch die SBB etwas genauer analysiert wurden. Insgesamt wurden 42 Fallbeispiele analysiert. 14 davon stammen aus einem aktuellen Projekt, und wurden durch G+P AG in der Hauptuntersuchung eingebracht. Die restlichen 28 Beispiele sind Teilbereiche aus Projekten der Ordentlichen Lärmsanierung, die ursprünglich mit dem KNI berechnet, und in der Testphase neu durch die SBB mit dem WTI-Tool berechnet wurden.

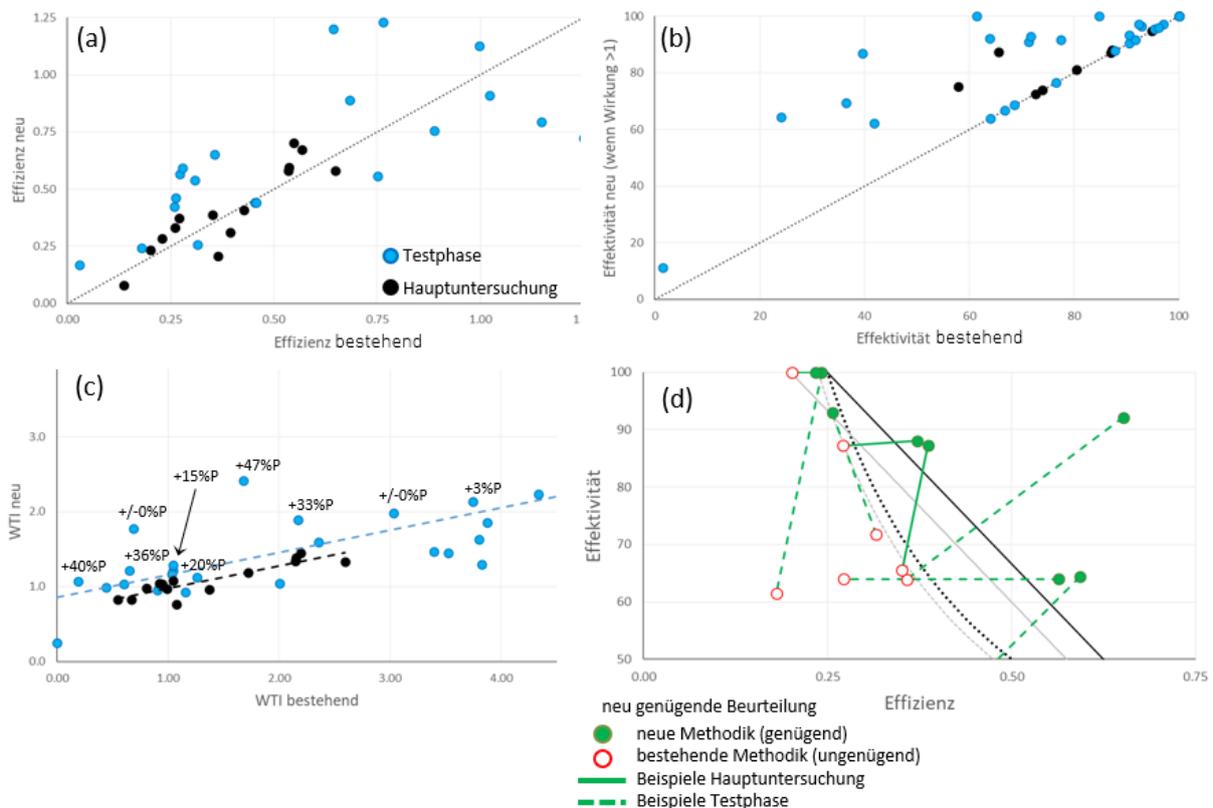


Abb. 30: Vergleich zwischen bestehender und neuer Effizienz (a), Effektivität (b) und WTI (c) für Praxisbeispiele der Bahn. Es wurde differenziert zwischen Beispielen der Hauptuntersuchung (schwarz) und der Testphase (blau). In (d) sind die neu genügenden Beispiele dargestellt (jeweils grün ausgefüllte Kreise). Sie sind jeweils mit einer Linie verbunden mit den Punkten der (entgegengesetzten) Beurteilung der bestehenden Methodik (jeweils offene Kreise). Für einige Punkte, welche über der Trendlinie liegen, wurde die Erhöhung der Effektivität aufgrund der Anwendung der neuen Methodik festgehalten (%P=Prozentpunkt).

Im Gegensatz zum gesamten Datensatz der Testphase lässt sich für die Fallbeispiele der Bahn betreffend Effizienz keine deutliche Abweichung zur bestehenden WTI-Methodik feststellen. Die Varianz um

26. Mai 2021

die Identitätslinie (gepunktete Linie als Diagonale) ist zwar höher als bei den Punkten der Hauptuntersuchung, jedoch ist keine Tendenz hin zu tieferer/höherer Effizienz im Vergleich zur bestehenden Methodik ersichtlich (Abb. 30a). Auffällig ist jedoch, dass ein grosser Teil der Beispiele der Testphase eine grosse Zunahme der Effektivität zu verzeichnen haben (Abb. 30b). Wie bereits angedeutet, lässt sich dies vor allem damit erklären, dass Objekte/Objektteile in der Berechnung berücksichtigt wurden, welche kaum oder keine Massnahmenwirkung zeigen. Als Beispiel soll hier der im Fachbericht durch die SBB aufgeführte Teilbereich *Solothurn R2* aufgeführt werden, dessen WTI von 1 (bestehende Methodik) auf 1.9 (neue Methodik) zunimmt:

- Die Effektivität, die durch die Anwendung der bestehenden WTI-Methodik resultiert, beläuft sich auf 40%.
- Die Effektivität, die durch die Anwendung der neuen WTI-Methodik resultiert, beläuft sich auf 87%, ist also mehr als doppelt so hoch.
- Eliminiert man nun die 3 Objekte (von insgesamt 25) in der Lärmbelastungstabelle, welche für keinen der Berechnungspunkte eine Wirkung von >1 dBA aufweisen (und lässt die Objekte in der Tabelle, welche für gewisse Fassaden und Etagen eine Wirkung >1 dBA zeigen), resultiert auch für die bestehende Methodik eine Effektivität von 87%.
- Dieses Beispiel zeigt, dass ein sorgfältiges Festlegen des Schutzzieles zumindest bei der bestehenden WTI-Methodik ein entscheidender Faktor für die WTI-Berechnung ist. Der Grund für die Abweichung der Effektivität ist dabei nicht die Berücksichtigung von Etagen, welche keine Wirkung zeigen, sondern von Objekten, die für keinen der BP eine massgebende Wirkung aufweisen.

Der Anteil dieser Beispiele mit erhöhter Effektivität ist im Vergleich zur Hauptuntersuchung überdurchschnittlich gross, und führt bei diesen Einzelbeispielen zu einem relativ hohen WTI (Abb. 30c).

Wie im Fachbericht der SBB aufgeführt, führt der aktualisierte WTI zu mehr Lärmschutzmassnahmen bei den untersuchten Teilbereichen. Konkret sind es für die Beispiele der Ordentlichen Lärmsanierung 5 Teilbereiche, die neu als genügend beurteilt werden (neben den 3 Fallbeispielen der Hauptuntersuchung). Im Vergleich dazu wird nur 1 Beispiel neu als ungenügend beurteilt (nicht dargestellt). Nachfolgend werden die Gründe für die 8 neu genügenden Beurteilungen genannt:

- **Höhere Effektivität:** wie in Abb. 30d ersichtlich ist bei 5 von 8 Beispielen zumindest teilweise die erhöhte Effektivität für die neu genügende Beurteilung verantwortlich.
- **Höhere Effizienz:** 2 Beispiele werden insbesondere aufgrund höherer Effizienz neu als genügend beurteilt. Eines davon weist eine relativ hohe Wohndichte von 75m² pro Wohneinheit auf. Das andere Beispiel hat nur Gebäude der ES III und ES IV im Perimeter.
- **Neue WTI-Formel:** ein Fallbeispiel wird aufgrund der neuen Lage der «WTI=1»-Linie als genügend beurteilt. Die Effektivität verändert sich nicht, und die Effizienz nimmt nur leicht zu.

Nachfolgend werden der bestehende und neue WTI mit dem KNI verglichen, welcher für die aktuellen in der Hauptuntersuchung durch G+P AG bearbeiteten Projekte durch die SBB nachgerechnet wurde. Währendem für die bestehende bzw. neue WTI-Methodik 74% bzw. 90% der Fallbeispiele genügend sind, weist der KNI nur gerade ein Drittel der Beispiele als genügend aus.

26. Mai 2021

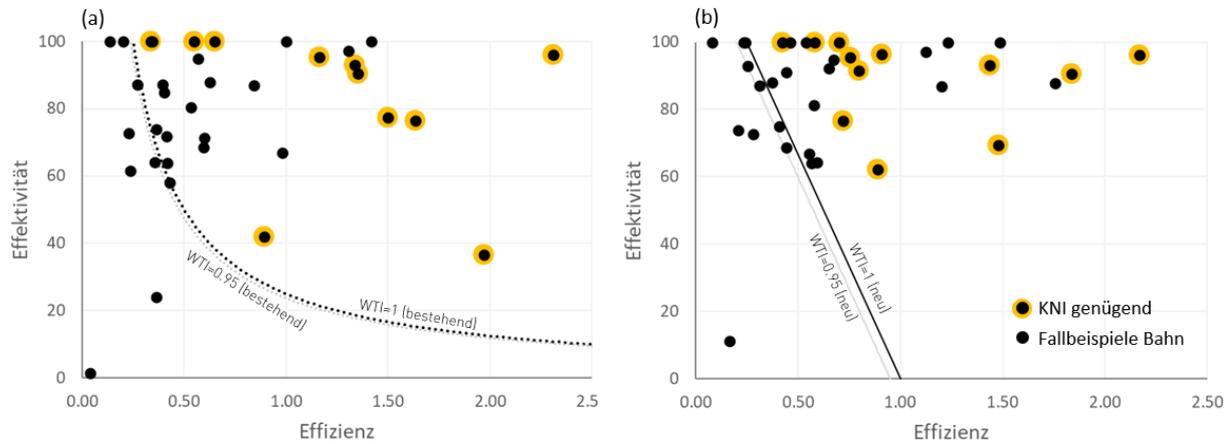


Abb. 31: Vergleich zwischen KNI-Beurteilung einerseits und (a) bestehendem und (b) neuem WTI andererseits.

7.6 Verzicht zweistufiges Vorgehen bei bestehenden Anlagen

Geprüft wurde in der Hauptuntersuchung ein zweistufiges Vorgehen bei der Perimeterwahl, um den Berechnungsaufwand für den Anwender des WTI-Excel-Tools zu reduzieren. Die Untersuchungsergebnisse in Kap. 5.4.2 hatten gezeigt, dass es nur in 6 von 168 Beispielen zu einer neu positiven Beurteilung ($WTI > 0.95$) nach der Anwendung des 2. Schrittes gekommen ist. Alle diese 6 Beispiele hatten nach dem 1. Schritt einen WTI von 0.9, und wurden durch eine durchschnittliche Veränderung des WTI von 0.02 genügend.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde an der Begleitgruppensitzung im September 2020 vorgeschlagen, bei bestehenden Anlagen nur einen 2. Schritt zu prüfen, falls der WTI nach dem 1. Schritt 0.9 beträgt. Dies hätte zur Folge gehabt, dass für 19% aller in der Hauptuntersuchung geprüften Beispiele eine 2. Stufe fällig geworden wäre, jedoch nur 18% dieser Beispiele (6 von 33) eine neu genügende Beurteilung erfahren hätten. Durch die Diskussionen an der Sitzung wurde dann schliesslich entschieden, dass für bestehende Anlagen auf die 2. Berechnungsstufe gänzlich verzichtet werden soll (und dafür das Gewerbe konsequenterweise schon im 1. Schritt berücksichtigt werden soll; s. auch Kap. 7.7).

Wie wirkt sich der Verzicht auf die 2. Berechnungsstufe auf die Beurteilung der Beispiele der Testphase aus? 27 der Beispiele (17% der 155 Beispiele der Testphase) haben einen WTI von 0.9, d.h. für diese müsste im Falle eines zweistufigen Vorgehens der Untersuchungsperimeter erweitert werden (2. Berechnungsstufe). Nur bei 3 der Beispiele (11% der 27 Beispiele) hätte dieser Mehraufwand eine neu genügende Beurteilung zu Folge, wobei die durchschnittliche Veränderung im WTI bei diesen 3 Beispielen 0.03 beträgt.

Die Anwendung der 2. Berechnungsstufe (d.h. die Ausdehnung des Perimeters) hätte sowohl in der Hauptuntersuchung als auch in der Testphase nur selten Einfluss auf die Beurteilung genügend/unge-nügend. Als Fazit kann festgehalten werden, dass der Verzicht auf die 2. Berechnungsstufe Sinn macht, da der zusätzliche Aufwand nur in wenigen Fällen (15% aller Beispiele mit $WTI = 0.9$ nach der 1. Stufe) eine Rechtfertigung hat. Dies zeigen sowohl die Ergebnisse der Hauptuntersuchung als auch diejenigen der Testphase. Es muss jedoch erwähnt werden, dass möglich ist, dass der Perimeter der geprüften Beispiele nicht immer gross genug ist, um die ganze Tragweite der Ausdehnung zu erfassen (da der Perimeter der geprüften Beispiele meist auf der bestehenden WTI-Methodik bzw. -Tool basiert).

26. Mai 2021

7.7 Einfluss der Geschäftsliegenschaften

An der Besprechung der Resultate der Begleitgruppe im September 2020 wurde entschieden, dass der Mietzinsnutzen von Geschäftsliegenschaften – im Gegensatz zum Gesundheitsnutzen – für das Excel-Tool der Testphase nicht mehr für die Berechnung der Effizienz berücksichtigt werden soll. Nachfolgend soll kurz der Einfluss dieser Entscheidung aufgezeigt werden – sowohl für die Beispiele der Testphase als auch derjenigen der Hauptuntersuchung.

Insgesamt weisen 83 der 323 Beispiele einen Gewerbeanteil auf, welche zumindest teilweise eine Massnahmenwirkung von >1 dBA aufweisen. Der Gewerbeanteil bei den 83 Beispielen variiert zwischen <1% und 100%. Die Reduktion der Effizienz bzw. des WTI aufgrund der Nichtberücksichtigung des Mietzinsnutzens beträgt maximal 0.42, und zwar in einem Fallbeispiel an der Eisenbahnlinie, wo der Anteil des Gewerbes im Perimeter relativ hoch ist (42%) und die Wirkung der Massnahme insbesondere bei diesen Liegenschaften gross (Gewerbe in der ersten Bautiefe). Im Mittel gehören 4% der Berechnungspunkte zu Gewerbeliegenschaften, wobei die Reduktion der Effizienz bzw. des WTI im Mittel 0.03 beträgt.

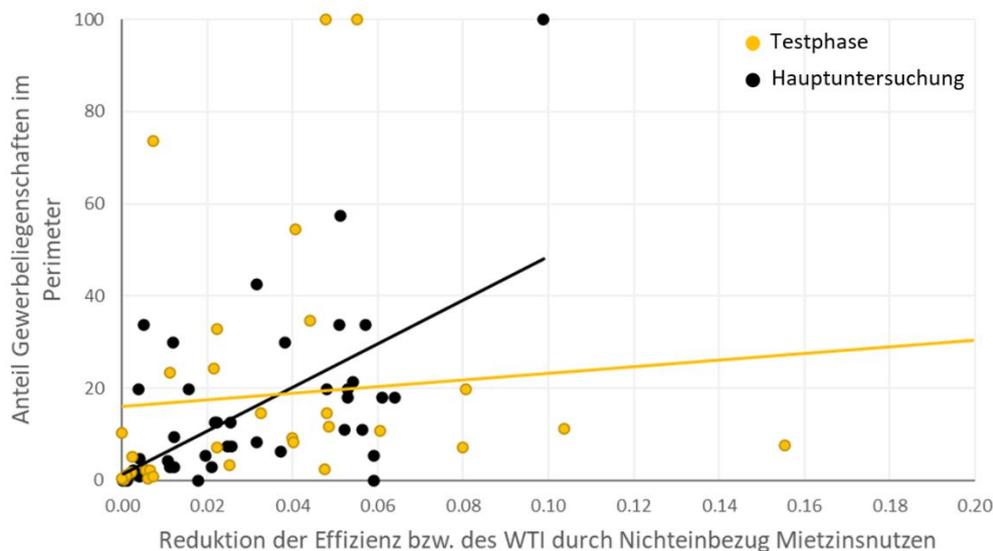


Abb. 32: Korrelation zwischen dem Einfluss der Nichtberücksichtigung der Gewerbeliegenschaften für die Mietzinsreduktion (X-Achse) und dem Anteil Gewerbeliegenschaften im Untersuchungsperimeter. Die Korrelation für die Beispiele der Hauptuntersuchung ist höher, da für die Testphase in vielen Beispielen der Perimeter zu gross gewählt wurde (Gewerbegebäude mit Wirkung <1).

Es gibt mehrere Faktoren, die für die Reduktion der Effizienz bzw. des WTI verantwortlich sind. Einerseits hat der Anteil der Gewerbeliegenschaften einen massgebenden Einfluss. Andererseits ist die Lage dieser Liegenschaften, und konsequenterweise die Massnahmenwirkung entscheidend. In Abb. 32 ist ersichtlich, dass für die Hauptuntersuchung eine deutlichere Korrelation zwischen der Reduktion der Effizienz/WTI und dem Anteil der Gewerbeliegenschaften vorhanden ist. Der Grund liegt teilweise darin, dass in der Testphase Gewerbeliegenschaften in den Perimeter einbezogen wurden, welche eine Wirkung <1 dBA aufweisen, und daher keinen Einfluss auf die Berechnung haben (s. auch Kap. 7.4).

Aufgrund des im Mittel geringen Einflusses der Geschäftsliegenschaften werden durch die Nichtberücksichtigung des Mietzinsnutzens für die Effizienz nur 4 der 83 Fallbeispiele (5%) neu ungenügend. Nachfolgend soll kurz illustriert werden, wieso der WTI dieser vier Beispiele gekippt ist:

- **Nationalstrasse N1, Oberbuchsiten, Kanton Bern:** in diesem Fallbeispiel wurde in einem Perimeter mit 20% Gewerbegebäuden eine neue Lärmschutzwand geprüft. Die Wirkung der Massnahme ist für Gewerbeliegenschaften im Mittel 3 dBA höher als für Wohngebäude. Durch die Reduktion der Effizienz verringert sich der WTI von 0.99 (gerundet 1.0) auf 0.94 (gerundet 0.9).

26. Mai 2021

- **Nationalstrasse N1, Chavannes, Kanton Waadt:** in diesem Fallbeispiel sind kaum Gewerbeliegenschaften vorhanden (2%), und auch die Wirkung der geprüften Lärmschutzwand ist nicht höher als für Wohngebäude. Die Effizienz reduziert sich kaum, führt jedoch zu einer Reduktion des WTI von 0.95 (gerundet 1.0) auf 0.94 (gerundet 0.9).
- **Nationalstrasse N1, Wallisellen, Kanton Zürich:** in diesem Fallbeispiel wurde eine Lärmschutzwand geprüft für ein Industriegebiet ohne Wohnliegenschaften. Durch die Reduktion der Effizienz um 0.10 verringert sich der WTI entscheidend von 1.01 (gerundet 1.0) auf 0.91 (gerundet 0.9).
- **Eisenbahn, Wädenswil, Kanton Zürich:** in diesem Fallbeispiel sind etwa über die Hälfte der Berechnungspunkte Gewerbegebäude, wobei die Wirkung der geprüften Lärmschutzwand bei den Gewerbebauten im Mittel um 3–4 dBA höher ist als bei den Wohngebäuden. Durch die Reduktion der Effizienz um hohe 0.16 verringert sich der WTI von 1.03 (gerundet 1.0) auf 0.88 (gerundet 0.9).

Alle vier Beispiele, die aufgrund des neuen Vorgehens eine ungenügende Beurteilung erhalten, sind auch schon ohne der Nichtberücksichtigung des Mietzinsnutzens nur knapp genügend (im Mittel beträgt der WTI 1.00). Grundsätzlich lässt sich schlussfolgern, dass der Einfluss der Geschäftsliegenschaften, wie schon in Kapitel 5.5 festgehalten, meist vernachlässigbar ist. Bei hohem Gewerbeanteil und/oder im Vergleich zu den Wohnliegenschaften hohen Massnahmenwirkung kann die Reduktion der Effizienz durch die Anpassung der WTI-Methode bei «knappen» Beispielen dazu führen, dass der WTI neu ungenügend wird.

7.8 Feedback der Testuser

Zusammen mit dem WTI-Excel-Tool wurde den Testusern ein Fragebogen ausgeteilt, um eine Rückmeldung zur angepassten Methodik, zum WTI-Diagramm und spezifisch zur Wirkungsweise der Effektivität zu erhalten. Insgesamt kamen wurden 7 Fragebögen ausgefüllt. Die SBB hat zusätzlich einen 12-seitigen Fachbericht mit Analysen und Empfehlungen zum überarbeiteten WTI zusammengestellt.

7.8.1 Methodik

Nachfolgend sind die Antworten auf die Fragen zur getesteten Methodik zusammengestellt:

- **Plausibilität der Ergebnisse:**
 - **Positives Grundfazit:** grundsätzlich erscheinen für viele Testuser die Ergebnisse mit der neuen WTI-Methodik plausibel.
 - **Beurteilung lärmarmen Belag:** Ein Testuser führt Beispiele mit einem lärmarmen Belag auf, bei dem sich der WTI für die neue Methodik teils deutlich verschlechtert, wobei der gewählte Kostenansatz als Haupttreiber vermutet wird. *(Anmerkung: es ist jedoch in diesem konkreten Fall nicht die Kostenseite, die für die tiefere Effizienz verantwortlich ist, sondern die Nutzenseite. Denn die höheren Kosten wirken sich auf beide WTI-Methodiken relativ ähnlich aus.)*
 - **Beurteilung Einzelobjekte:** Zwei Testuser äussern sich zu der Beurteilung von Einzelobjekten. Einer bemängelt, dass Massnahmen für Einzelobjekte mit der neuen Methodik deutlich besser bewertet werden als bisher. Der andere Testuser ist der gegenteiligen Ansicht *(Anmerkung: von den 27 Praxisbeispielen, bei welchem nur jeweils 1 Objekt berücksichtigt wurde, sind alle WTI-Werte < 1, sowohl für die bestehende als auch für die neue Methodik. Die Effizienz ist mit durchschnittlich 0.09 leicht höher für die bestehende als für die neue Methodik.)*
 - **Veränderung durch WTI-Methodik:** Zwei Testuser äussern sich zu der verändernden Beurteilung ihrer Fallbeispiele. Bei den Beispielen des Kantons Bern ergab sich bei bisher knapp genügendem WTI eine tendenzielle Verschlechterung zu ungenügender Beurteilung. Die SBB hat bei ihren

26. Mai 2021

Praxisbeispielen das Gegenteil beobachtet. *(Anmerkung: wie in Kap. 7.4 diskutiert, sind mit der neuen Methodik mehr Beispiele von genügend zu ungenügend «gewechselt» als umgekehrt.)*

▪ **Verbesserungen in der neuen Methodik:**

- 4 der Testuser sehen keine Verbesserungen in der neuen Methodik.
- Ein Testuser findet die Berücksichtigung von Gesundheitskosten und die Aktualisierung der Mietpreiskosten wichtig und sinnvoll sind.
- Zwei Testuser würdigen die einheitlichen Kosten für Lärmschutzwände.

▪ **Verschlechterungen in der neuen Methodik:**

- **Zusatzaufwand:** Kritisiert wird von mehreren Testusern der zusätzliche Aufwand, der durch die Erfassung der Wohneinheiten einerseits und durch die Vergrösserung des Perimeters andererseits entsteht. Zudem ist teilweise unklar, wie aus den Angaben des GWR-Datensatzes auf die Anzahl Wohneinheiten geschlossen werden kann *(Anmerkung: grundsätzlich erlaubt der GWR-Datensatz eine stockwerkscharfe Zuordnung der Wohneinheiten. Aufgrund des meist unbekanntes Grundrisses sind jeweils trotzdem noch gewisse Annahmen zu treffen.)*
- **Fehlende Gewichtung IGW-Überschreitung:** Ein Testuser bemängelt, dass die Höhe der IGW-Überschreitung mittels Gewichtung nicht mehr berücksichtigt wird. Zwei Testuser sind ähnlicher Meinung, und würden eine stärkere Gewichtung von IGW- oder AW-Überschreitungen befürworten.
- **Geringe Bandbreite des WTI-Werts:** Ein weiterer Punkt, der von mehreren Testusern kritisiert wird, ist die geringere Bandbreite der resultierenden WTI-Werte. Dadurch sind die Ergebnisse weniger klar, was zu mehr Diskussionen führt. Insbesondere ist ein Grossteil der WTI-Werte im Bereich von 1.0, und impliziert damit, dass sie Grenzfälle sind. Ein für die Praxis zweckmässiger WTI sollte jedoch mehr Klarheit schaffen. Zudem suggeriert der WTI-Wert bei 100%-Effektivität auch bei tiefer Effizienz einen fast genügenden WTI, da dieser nicht unter 0.8 fallen kann. Dies wird als nicht zielführend erachtet.

▪ **Empfehlungen:**

- **Leitfaden für Bestimmung Geschossfläche/Wohneinheit:** Mehrere Testuser wünschen sich Veränderungen, oder zumindest unterstützende Kriterien, bei der Bestimmung der Geschossfläche. So wird ein Kriterium einer max. berücksichtigten Geschossfläche pro EP – ähnlich wie bei ASTRA-Projekten – befürwortet. Ein Testuser empfiehlt, die Anzahl Wohneinheiten mittels der Geschossfläche zu ermitteln (z.B. 1 Wohneinheit pro 150m²). Die SBB empfiehlt, die Geschossfläche anhand der Anzahl Wohneinheiten zu ermitteln (s. Empfehlungen durch die SBB weiter unten).
- **Leitfaden Kostenschätzung:** Ein Testuser fände es hilfreich, wenn für die Angabe der Kosten ein besserer Leitfaden gestaltet werden könnte. Er wirft diesbezüglich die Frage auf, ob die Kosten für eine Massnahme Material- und Projektierungskosten enthalten sollen.
- **Zweistufiges Vorgehen von Nutzen?** Zwei Testuser werfen die Frage auf, ob ein zweistufiges Vorgehen bei Neuanlagen wirklich erforderlich ist.
- **Generelle Empfehlungen durch die SBB:** Die SBB hat im Rahmen ihres Fachberichts «Analyse und Empfehlungen zum überarbeiteten Fachbericht» mehrere Verbesserungsvorschläge vorgestellt, die hier nur kurz zusammengefasst werden:
 - **Gesamtabwägung:** Bei der Verhältnismässigkeitsprüfung einer Lärmschutzmassnahme soll der WTI nur ein Faktor von vielen sein. Daneben sollen im Rahmen einer Bewertungsmatrix die Kosten der Massnahme, die Gesundheitskosten, das Ortsbild und die Sicherheit gewichtet Einfluss nehmen.

26. Mai 2021

- **Wirkungsabhängige Beschränkung Perimeter:** Die SBB möchte, dass die minimale Massnahmenwirkung bei Liegenschaften nicht 1 dBA, sondern 3 dBA betragen soll. So würde man der Effektivität mehr Gewicht geben.
- **Kosten:** Grundsätzlich wird für netzweite Programme (wie der Ordentlichen Lärmsanierung) im Sinne einer Gleichbehandlung aller Personen die Verwendung von pauschalen Kosten für Massnahmen befürwortet. Auch bei einem Damm sollte für die Kostenschätzung immer von einer Lärmschutzwand ausgegangen werden. Bei der Umsetzung von solitären Projekten, d.h. nicht im Rahmen eines netzweiten Programms, sollen die effektiven Kosten berücksichtigt werden, und keine pauschalen.
- **Lärmbelastete Gebäudefläche:** Die Effizienz soll auf Basis einer Personenbetroffenheit und nicht auf Basis von Gebäudeflächen ermittelt werden. Die Gebäudefläche soll deshalb, auch im Sinne einer Vereinfachung der Methodik und einer Gleichbehandlung von Personen, anhand der Wohneinheiten berechnet werden, wobei z.B. der aktuelle statistische Mittelwert der Wohnfläche pro Wohneinheit (138m² pro Wohneinheit) berücksichtigt werden kann.
- **WTI pro Massnahme:** Der WTI muss für jede Lärmschutzwand separat berechnet werden, damit eine «Quersubventionierung» von nicht-wirtschaftlichen Massnahmen verhindert werden kann.
- **Untersuchungsperimeter:** Die Reduktion der Perimeteruntergrenze führt insbesondere bei Neuanlagen zu einem Zusatzaufwand. Zudem nimmt die Berechnungsunsicherheit mit der Zunahme der Bautiefe graduell ab. Die Differenzierung zwischen 1. und 2. Berechnungsstufe bei Neuanlagen schient zudem wenig sinnvoll zu sein.

7.8.2 WTI-Diagramm

Nachfolgend sind die Antworten auf die Fragen zum WTI-Diagramm zusammengestellt:

- **Beibehaltung der Beurteilungsklassen:**
 - 5 Testuser sind der Ansicht, dass die Beurteilungsklassen beibehalten werden sollen, da ein reiner Ja/Nein-Entscheid der Komplexität des WTI nicht gerecht wird. Insbesondere erleichtern die verschiedenen Beurteilungsklassen die Kommunikation der Ergebnisse gegenüber Aussenstehenden, umso mehr da durch die reduzierte Bandbreite der WTI-Ergebnisse ein WTI-Wert allein nicht die erforderliche Klarheit schafft.
 - 2 Testuser sind der Ansicht, dass eine Unterteilung in Beurteilungsklassen nicht notwendig ist, dass sowieso so nur der Entscheid genügend/ungenügend massgebend ist.
 - 1 Testuser ist der Ansicht, dass die Beurteilungsklasse «sehr gut» aufgehoben werden kann.
- **Neue WTI-Formel zur Vergrösserung der WTI-Bandbreite:**
 - Viele der Testuser sind der Meinung, dass das neue WTI-Diagramm Vorteile gegenüber dem WTI-Diagramm mit nur noch zwei Beurteilungsklassen aufzuweisen hat (wahlweise die vergrösserte Bandbreite und/oder die vorhandenen Beurteilungsklassen). Auch die SBB ist der Ansicht, dass ein Diagramm mit mehreren Beurteilungsklassen einem binären Diagramm («genügend/ungenügend») vorzuziehen ist.
 - Eine im Fragebogen vorgeschlagene Alternative, der reduzierten Bandbreite der resultierenden WTI-Werte entgegenzuwirken, ist es die WTI-Werte auf 2-Kommastellen anzugeben. Die 2 Testuser, die sich dazu geäussert haben, erachten diese Massnahme als nicht sinnvoll, da es eine Genauigkeit vortäuscht, die nicht vorhanden ist.
 - Ein Testuser ist der Meinung, dass dasjenige WTI-Diagramm präferiert werden soll, das besser nachvollziehbar ist. Wenn er damit die Nachvollziehbarkeit der Formel andeutet, sieht er Vorteile in der

26. Mai 2021

durch ECOPLAN und Sinus (2018) vorgeschlagenen Formel. Ein weiterer Testuser findet jedoch, dass die Nachvollziehbarkeit der Formel keine Rolle spielt, da die WTI-Methodik für den Laien/Anwender sowieso schwer nachzuvollziehen ist.

7.8.3 Übersichtlichkeit und Bedienfreundlichkeit

Nachfolgend sind die Antworten auf die Fragen zur Übersichtlichkeit und Bedienfreundlichkeit des Excel-Tools zusammengestellt:

- Da sich bei der Eingabe und dem Design des Excel-Tool nicht viel verändert hat im Vergleich zum bestehenden Tool, kommen grundsätzlich nicht viele negative Kommentare.
- 3 Testuser finden es positiv, dass keine Makros mehr im Excel integriert sind, bzw. dass die Eingabe zusätzlicher Zeilen einfacher ist als im bestehenden Tool.
- Ein Testuser möchte die Einschränkungen bei der Eingabe der Objekt-Nr. (nur ganze positive Zahlen) aufgehoben haben.
- Ein Testuser findet bei grossen Projekten die Eingabe der Empfindlichkeitsstufe, das im Moment als Dropdown-Menu organisiert ist, mühsam. *(Anmerkung: grundsätzlich ist jedoch gewährleistet, dass eine Auswahl (z.B. «II») im Excel für die ganze Spalte kopiert werden kann, so dass sich der Aufwand auch bei vielen verschiedenen Empfindlichkeitsstufen in Grenzen hält.)*
- 2 Testuser würden als sinnvoll erachten, wenn im überarbeiteten WTI-Excel-Tool ein Situationsplan beigefügt werden könnte.

7.8.4 Effektivität

Nachfolgend sind die Antworten auf die Fragen zur Wirkungsweise der Effektivität zusammengestellt. Grundsätzlich sind zu dieser Thematik wenige Antworten eingegangen.

- **Einschränkungen durch die Effektivität:**
 - Bei zwei Testusern hat der Umstand, dass die gesetzliche Zielerreichung einen grossen Einfluss auf die Beurteilung hat, bei nicht vollständig geschützten Einzelobjekten nahe der Strasse, hohen Gebäuden, und generell bei bestehenden Massnahmen zu einer ungenügenden Beurteilung einer sinnvollen Massnahme geführt.
- **Verbesserungsvorschläge:**
 - Stärkere Gewichtung von IGW- oder AW-Überschreitungen.
 - Die SBB findet es nicht zielführend, dass die Effektivität auf der gesetzlichen Zielerreichung basiert. Die Effektivität sollte unabhängig von Grenzwerten sein. Vorgeschlagen wird eine Wirkungsschwelle, welche unabhängig dem IGW ist.

7.9 Haupteigenschaften der Testphase

Nachfolgend sollen die Haupteigenschaften der Testphase kurz zusammengefasst werden:

- **Tiefere Effizienz:** In der Tendenz ist die Effizienz der neuen Methodik etwas tiefer als für die bestehende Methodik (gilt nur für die Testphase). Die Effizienz korreliert mit der Wohnfläche pro m², die für die Beispiele der Testphase im Mittel deutlich höher ausfällt als für die Hauptuntersuchung. Ob dies aufgrund der Unterschiede bei den geprüften Gebäuden, oder aufgrund eines unterschiedlichen Vorgehens bei der Bestimmung der lärmbelasteten Gebäudefläche und der Wohneinheit passiert, kann auf Basis der Datenlage nicht geklärt werden.
- **Abhängigkeiten der Effizienz:** die hohe Abhängigkeit der Effizienz von der Empfindlichkeitsstufe und der Wohndichte wurde bestätigt.

26. Mai 2021

- **Höhere Effektivität:** Bei vielen Beispielen der Testphase erhöht sich die Effektivität bei der Anwendung der neuen WTI-Methodik. Der Grund ist die neu wirkungsabhängige Perimeterbeschränkung:
 - **vertikale Beschränkung:** in einigen Fallbeispielen der Testphase kann die Erhöhung der Effektivität auf Etagen mit Wirkung <1 dBA zurückgeführt werden, welche bei der bestehenden Methodik die Effektivität verschlechtern haben
 - **horizontale Beschränkung:** in den allermeisten Fallbeispielen der Testphase, bei denen eine grosse Veränderung der Effektivität festgestellt wurde, war jedoch v.a. die horizontale Wirkungsbeschränkung der Haupteinfluss. Der Grund ist, dass in einigen Untersuchungsperimetern der Testphase Objekte vorhanden sind, die keine oder kaum Massnahmenwirkung zeigen. Eine sorgfältige Definition des Schutzziels für jede Massnahme ist deshalb elementar für eine korrekte WTI-Berechnung mit dem bestehenden WTI-Tool. Dieser Umstand verdeutlicht umso mehr, dass eine wirkungsabhängige Beschränkung des Perimeters eine durchaus sinnvolle Verbesserung ist, da sie nicht nur den Aufwand für den Anwender reduziert, sondern auch Fehler bei der Definition des Schutzziels eliminiert.
- **Verzicht auf zweistufiges Vorgehen bei bestehenden Anlagen:** Die Anwendung der 2. Berechnungsstufe (d.h. die Ausdehnung des Perimeters) hätte sowohl in der Hauptuntersuchung als auch in der Testphase nur selten Einfluss auf die Beurteilung genügend/ungenügend, weshalb der Verzicht darauf Sinn macht.
- **Einfluss der Geschäftsliegenschaften:**
 - Der Mietzinsnutzen von Geschäftsliegenschaften wurde – im Gegensatz zum Gesundheitsnutzen – für das Excel-Tool der Testphase nicht mehr für die Berechnung der Effizienz berücksichtigt. Da dies einem Szenario entspricht, welche in der Hauptuntersuchung nicht geprüft wurde, wurden die Auswirkungen dieser Anpassung bei allen ca. 80 Projekte mit Gewerbe sowohl der Hauptuntersuchung als auch der Testphase analysiert.
 - Nur wenige Beispiele wurden aufgrund der Nichtberücksichtigung des Mietzinsnutzens der Gewerbegebäude neu ungenügend (als Vergleich diente eine Berücksichtigung sowohl des Mietzins- als auch des Gesundheitsnutzens), und auch diejenigen unter anderem deswegen, weil sie auch mit voller Berücksichtigung des Gewerbes nur knapp genügend sind. Grundsätzlich lässt sich schlussfolgern, dass der Einfluss der Geschäftsliegenschaften meist vernachlässigbar ist. Bei hohem Gewerbeanteil und/oder im Vergleich zu den Wohnliegenschaften hohen Massnahmenwirkung (bspw. wenn die erste Bautiefe nur aus Gewerbegebäuden besteht) ist der Einfluss am höchsten.
- **Bestimmung lärmbelastete Gebäudefläche:** Die im Reiter «Lärmbelastungen» einzugebende lärmbelastete Geschossfläche variiert zum Teil beträchtlich von Beispiel zu Beispiel und von Testuser zu Testuser. Dies hat direkte Auswirkungen auf die Wohnfläche pro m² und daher auch auf die Effizienz. Ob dies aufgrund der Unterschiede bei den geprüften Gebäuden, oder auf eine unterschiedliche Vorgehensweise bei der Bestimmung der lärmbelasteten Gebäudefläche und der Wohneinheit zurückzuführen ist, ist unklar. Aufgrund des grossen Einflusses dieses Parameters kann eine Reduktion des Interpretationsspielraums bei der Vorgehensweise Sinn machen (s. aktuellen Leitfaden Strassenlärm, BAFU (2006) und technisches Merkblatt 21 001-21006 zur wirtschaftlichen Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen, ASTRA (2014)).
- **Geringe Bandbreite der WTI-Werte:** Kritisiert wurde die geringe Bandbreite der WTI-Werte, die mit der neuen WTI-Methodik resultieren. Die Testuser sind nicht abgeneigt von im Fragebogen präsentierten neuen Vorschlags eines WTI-Diagramms (s. auch Abb. 21). Dieser besitzt dieselben Schlüsseigenschaften, wie das Diagramm von ECOPLAN und Sinus (2018), da die «WTI=1»-Linie dieselbe Lage hat. Als Vorteil werden jedoch die ähnlichen Beurteilungsklassen wie bei der bestehenden Methodik

26. Mai 2021

und die höhere Bandbreite der WTI-Werte gesehen, da die Ergebnisse so einfacher und klarer zu kommunizieren sind.

7.10 Reduktion des Interpretationsspielraums bei der Bestimmung von Geschossfläche/Wohneinheit

Eines der Zielsetzungen des Projekts war die Begrenzung des Interpretationsspielraums bei der Anwendung des WTI-Excel-Tools. Im Fokus stand dabei vor allem die Perimeterauswahl, für welche mit der Wirkungsabhängigkeit eine gute Einschränkung gefunden wurde. Gemäss dem Feedback der Testuser scheint es jedoch auch ein Anliegen zu sein, unterstützende Kriterien bei der Bestimmung der lärmbelasteten Gebäudefläche und der Wohneinheiten zu definieren. Gemäss der Durchsicht der Projekte der Testuser variiert die zugeordnete Gebäudefläche jeweils stark, und ist teilweise mehrere Tausend Quadratmeter gross.

7.10.1 Lärmbelastete Gebäudefläche

Gemäss Anhang 4a des Leitfadens für Strassenlärm (Grundsätze für die Anwendung des WTI) haben WTI-Berechnungen in der Regel gebäudescharf zu erfolgen. Für bauliche Massnahmen wird zudem eine fassaden- und geschossscharfe Analyse empfohlen, so dass eine Zuordnung der lärmbelasteten Gebäudeflächen ($GF_{Lärm}$; teilweise auch als Geschossfläche bezeichnet) zu den Lärmbelastungen präzise möglich ist. Gemäss Anhang 4c des Leitfadens für Strassenlärm (Benutzerhandbuch WTI-Excel-Tool) soll die Zuordnung von Berechnungspunkten zu $GF_{Lärm}$ immer in Abhängigkeit des Detaillierungsgrades des Projektes erfolgen: je nach dem entspricht deshalb die $GF_{Lärm}$ einer Wohnung, einer Etage oder eines ganzen Gebäudes. Eine weitere Präzisierung wurde in diesen Anhängen des Leitfadens für Strassenlärm nicht vorgenommen.

Mit dem Ziel, dass alle Anwohner der Nationalstrassen gleichbehandelt werden, hat das ASTRA in Zusammenarbeit mit G+P AG die Anwendung für Nationalstrassen in einem technischen Merkblatt (Wirtschaftliche Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen, 21 001-20106) präzisiert. Insbesondere wurde in Kap. 5.2 der oben genannten Publikation der Interpretationsspielraum für die Bestimmung der $GF_{Lärm}$ verkleinert. Grundsätzlich sind für WTI-Berechnungen an der Nationalstrasse folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Die Berechnungspunkte werden grundsätzlich geschossscharf gesetzt, wobei die berechnete Lärmbelastung repräsentativ sein muss für den ausgewiesenen $GF_{Lärm}$.
- Grundsätzlich soll die $GF_{Lärm}$ pro Berechnungspunkt nicht grösser als $150m^2$ sein. Insbesondere bei grossen Wohnhäusern muss darauf geachtet werden, dass genügend Berechnungspunkte gesetzt werden.
- Wenn die zu schützenden Gebäude in erster Bautiefe und weniger als 20m von der Strassenachse entfernt liegen, muss die Zuordnung der $GF_{Lärm}$ zu den Berechnungspunkten genauer, bzw. die Zuordnung, wenn möglich, pro Zimmer erfolgen ($<150m^2$).
- Bei Gewerbegebäuden dürfen nur die lärmempfindlichen Flächen berücksichtigt werden. Grundsätzlich empfiehlt es sich, die Lärmbelastung und die $GF_{Lärm}$ ab einer Tiefe von ca. 4.5m differenziert zu ermitteln (über Berechnungspunkte der Seitenfassaden).
- Bei unüberbauten Parzellen soll die Berechnung der $GF_{Lärm}$ auf Basis der Fläche der Parzelle, der Ausnützungsziffer und der zulässigen Anzahl Geschosse berechnet werden. Dabei muss bei grossen Parzellen auch die Ausrichtung der Parzelle zur Lärmquelle und die potenzielle Tiefe der Gebäude berücksichtigt werden.

26. Mai 2021

Ein Teil der oben zusammengestellten Präzisierungen vom ASTRA sind erst seit gut einem Jahr im technischen Merkblatt festgehalten worden, weshalb die Erfahrungen aus der Praxis noch gering sind.

Grundsätzlich sind die Überlegungen, die zu diesen Präzisierungen geführt haben, auch für den Kantonsstrassen- und Bahnlärm gültig. Falls man für die Ermittlung der $GF_{\text{Lärm}}$ weitere Präzisierungen festhalten möchte, empfehlen wir die Präzisierungen des ASTRA zu übernehmen und gegebenenfalls weiterzuentwickeln.

7.10.2 Wohneinheiten

Gemäss dem Benutzerhandbuch für das WTI Excel-Tool (Anhang 4c, Leitfaden Strassenlärm) entspricht eine Wohneinheit bei Mehrfamilienhäusern einer Wohnung, und bei Einfamilienhäusern eines Hauses. Eine Wohneinheit entspricht grundsätzlich 3 Personen.

Die Zuordnung der Wohneinheiten für Wohngebäude ist in den meisten Fällen relativ trivial. Die Ermittlung der Anzahl Wohneinheiten pro Gebäude mittels den auf dem Kartenviewer *maps.geo.admin.ch* einsehbaren Daten des eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) hat geschossscharf zu erfolgen (das GWR listet die Anzahl und die Lage der Wohnungen pro Geschoss auf). Wenn ein Einfamilienhaus 3-geschossig ist, und je Geschoss ein Berechnungspunkt platziert wird, wird jedem Berechnungspunkt ein Drittel Wohneinheit zugewiesen. Wird die $GF_{\text{Lärm}}$ für ein Einfamilien- oder Mehrfamilienhaus differenzierter betrachtet, muss dies analog auch für die Wohneinheiten geschehen.

Etwas komplizierter ist die Bestimmung der Wohneinheiten für Betriebsräume. Auch hier hängt die Zuordnung der Wohneinheiten zum Berechnungspunkt von der $GF_{\text{Lärm}}$ ab. Wird bspw. bei grossen Gewerbegebäuden die $GF_{\text{Lärm}}$ nur bis zu einer Tiefe von 4.5m aufaddiert, muss auch die Anzahl der Personen, die sich in der Regel dauernd in den Räumen aufhalten, auf dieser Fläche basieren. Gemäss den Ausführungen in Kap. 4 dieses Berichts (und der Fusszeile auf Seite 20) wird empfohlen, bei Gewerbegebäuden von einer durchschnittlichen Bürofläche pro Person von 20m² auszugehen (d.h. 60m² pro Wohneinheit).

Bei unüberbauten Parzellen ist gemäss dem Benutzerhandbuch das Potenzial lärm betroffener Personen aufgrund der Parzellenfläche und der Ausnützungsziffer abzuschätzen, wobei 1 Wohneinheit pro 100m² Bruttogeschossfläche angenommen werden kann.

8. Schlussfolgerungen

In den letzten Jahren hat das BAFU zwei Studien zum WTI durchführen lassen, welche zum Schluss gekommen sind, dass Anpassungsbedarf bei der Methodik besteht. Der Vorschlag der Vorstudien sieht vor, neben dem Mietzinsnutzen (abhängig von der Wohnfläche) neu auch den Gesundheitsnutzen (abhängig von der Personenzahl) einer Lärmschutzmassnahme zu berücksichtigen. Eine weitere wichtige Änderung betrifft die Perimetergrenze und die Schadensuntergrenzen, die nicht mehr von der lärmrechtlichen Einordnung des Projekts und von den gesetzlich festgelegten Belastungsgrenzwerten abhängen. Da diese Grenzen in der neuen Methodik in der Tendenz tiefer liegen, wurde vorgeschlagen, dass der WTI in zwei Schritten berechnet wird, wobei der 2. Schritt nur bei knappen ungenügenden Entscheidungen durchgeführt werden soll. Weiter empfehlen die Vorstudien Aktualisierungen von Parametern sowohl auf der Nutzen- als auch der Kostenseite und eine Anpassung der WTI-Formel, so dass effiziente Massnahmen immer umgesetzt werden. Zudem wurde die Frage aufgeworfen, inwiefern Geschäftsliegenschaften in der neuen Methodik berücksichtigt werden sollen.

Aus der Begleitgruppe bestehend aus Entscheidbehörden erfolgte die Rückmeldung, dass mit den vorgeschlagenen Anpassungen die Methode komplexer und aufwändiger in der Anwendung wird. Im Auftrag

26. Mai 2021

des BAFU wurde daher im Rahmen dieser Studie der Anpassungsvorschlag der Vorstudien zu einer voll-zugtauglichen Methode weiterentwickelt, wobei die Vereinfachung der neuen Methodik das primäre Ziel war. Anhand von mehr als 150 realen Praxisbeispielen mit Lärmschutzmassnahmen gegen den Strassen- und Eisenbahnlärm wurde die Funktionsweise der neuen Methodik geprüft und verschiedene Szenarien miteinander und mit der bestehenden Methodik verglichen.

Diese Studie empfiehlt folgende Anpassungen und Vereinfachungen für die neue WTI-Methodik im Vergleich zum Vorschlag der Vorstudien:

- Aktualisierung des Mietzinsfaktors und der Schadensuntergrenzen aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse.
- Identische Schadensuntergrenzen für Mietzins- und Gesundheitsnutzen, wobei sie im Schweizer Lärm-mass definiert werden (45 dBA tags / 40 dBA nachts).
- Die Kosten für eine neue Lärmschutzwand soll standardmässig auf Fr. 1'500.- (mittlere Kategorie) pro m² festgelegt werden, wobei Abweichungen in begründeten Fällen möglich sein sollen.
- Wirkungsabhängige horizontale und vertikale Beschränkung des Untersuchungsperimeters (Liegenschaften sollen nur berücksichtigt werden, wenn Wirkung der Lärmschutzmassnahme >1 dBA beträgt).

Zudem wurde folgendes zweistufiges Vorgehen bei der Berechnung des WTI geprüft, um den Berechnungsaufwand für den Anwender zu reduzieren:

- 1. Stufe: Beschränkung des Perimeters auf die Lärmbelastung 55 dBA tags / 45 dBA nachts und kein Einbezug der Geschäftsliegenschaften. Die Effizienz wird jedoch trotzdem bis an die Schadensuntergrenze (45 dBA tags / 40 dBA nachts) berechnet.
- 2. Stufe: Falls die WTI-Beurteilung knapp ungenügend ausfällt (gerundete 0.9), soll der 2. Berechnungsschritt angewandt werden. Diese umfasst eine Ausweitung der Perimeteruntergrenze bis an die Schadensuntergrenze (45 dBA tags / 40 dBA nachts), und den Einbezug der Effizienz durch Gesundheitsnutzen und der Effektivität für Geschäftsliegenschaften. Falls im Perimeter viel Gewerbe vorhanden ist, empfiehlt es sich, den 2. Schritt auch bei einem tieferen WTI (nach dem 1. Berechnungsschritt) zu prüfen.

Aufgrund von Rückmeldungen aus der Begleitgruppe wurde entschieden, bei bestehenden Anlagen im Sinne der Vereinfachung die 2. Stufe gänzlich wegzulassen und dafür das Gewerbe für den Gesundheitsnutzen und die Effektivität schon in der 1. Stufe zu berücksichtigen. Bei Neuanlagen soll jedoch bei einem knapp ungenügenden WTI (0.9) die 2. Berechnungsstufe angewendet werden. Basierend auf diesen Entscheidungen und den Ergebnissen der Hauptuntersuchung wurde das Excel-Tool für die Testphase verändert und aktualisiert. Sechs Teilnehmer haben an der Testphase teilgenommen und weitere 155 Beispiele berechnet. Zudem wurde ein Fragebogen mit Fragen zur angepassten Methodik, zum WTI-Diagramm und spezifisch zur Wirkungsweise der Effektivität ausgefüllt.

Die in diesem Bericht präsentierten Ergebnisse der Hauptuntersuchung und der Testphase haben aufgezeigt, dass der Anteil der untersuchten WTI-Beispiele mit genügender Beurteilung für die bestehende und neue Methodik fast gleich hoch, aber nicht deckungsgleich sind. Für ca. 85% der Beispiele fällt die Beurteilung gleich aus, wobei je ca. 8% der Beispiele neu als genügend (WTI>1) bzw. ungenügend (WTI<1) beurteilt werden. Die Hauptgründe für eine neu ungenügende bzw. genügende Beurteilung bei den je ca. 8% der Beispiele sind oft ein dominierender Anteil an Liegenschaften in der Empfindlichkeitsstufe ES II oder ES III, und eine damit verbundene übliche Bebauungsstruktur. Bei fast allen Beispielen mit neu

26. Mai 2021

ungenügenden Beurteilungen dominieren beispielsweise ES II-Zonen mit einer typischerweise lockeren Bebauung (eher grosse Wohnfläche pro Person), da die neue Methodik diese bei der Schadensberechnung weniger berücksichtigt. Umgekehrt weisen in der neuen Methodik Gebiete mit hohem ES II-Anteil und einer eher dichten Bebauung einen höheren WTI auf im Vergleich zu bisher. Deutlich wird anhand dieser Ergebnisse, dass der Schutz von Personen etwas höher gewichtet wird als bisher.

Im Vergleich zur Hauptuntersuchung wurden für die Testphase – wie oben beschrieben – zwei Anpassungen an der Methodik getätigt. Sowohl die Nichtberücksichtigung des Mietzinsnutzens für die Effizienz von Gewerbeliegenschaften als auch der Verzicht auf die 2. Berechnungsstufe bei bestehenden Anlagen hat wenig Einfluss auf die WTI-Beurteilung. Besonders die Anpassung beim zweistufigen Vorgehen scheint durchaus sinnvoll, da der Aufwand für den Anwender reduziert wird.

Weitere Erkenntnisse der Testphase waren, dass bei den Beispielen für die neue Methodik tendenziell eine etwas tiefere Effizienz und im Einzelfall eine deutlich höhere Effektivität erzielt wurden. Bei der Hauptuntersuchung konnten diese Tendenzen nicht so klar festgestellt werden. Es ist jedoch gut möglich, dass dies teilweise dem anwenderspezifischen Vorgehen bei der WTI-Berechnung geschuldet ist. Zu betonen sind insbesondere das Vorgehen bei der Bestimmung der lärmbelasteten Gebäudefläche und den Wohneinheiten, und das Vorgehen bei der Perimeterauswahl bzw. der Definition des Schutzziels (das letztere wird bei der neuen Methodik keinen Einfluss mehr auf die Ergebnisse haben, da sie durch die wirkungsabhängige Perimeterauswahl gesteuert wird).

Die Umfrage in Form des Fragebogens lieferte spannende Inputs. Kritisiert wurde u.a. die geringe Bandbreite der WTI-Werte, die mit der neuen WTI-Methodik resultieren. Die Testuser sind nicht abgeneigt von einem neu in dieser Untersuchung vorgeschlagenen WTI-Diagramm, der dieselben Schlüsseigenschaften besitzt wie das Diagramm von ECOPLAN und Sinus [2018], da die «WTI=1»-Linie dieselbe Lage hat. Als Vorteil werden die ähnlichen Beurteilungsklassen wie bei der bestehenden Methodik und die höhere Bandbreite der WTI-Werte gesehen, da die Ergebnisse so einfacher und klarer zu kommunizieren sind.

Grolimund + Partner AG

Adam Hasenfraz

Andreas Schluep

Referenzen

Brink M. et al. (2018), Conversion between noise exposure indicators Leq_{24h} , L_{Day} , $L_{Evening}$, L_{Night} , L_{dn} and L_{den} : Principles and practical guidance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 221, 54–63.

Bundesamt für Strassen ASTRA (2014), Wirtschaftliche Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen. Technisches Merkblatt 21 001-21006. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU (1998), Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 301. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2006), Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Optimierung der Interessenabwägung. Umwelt-Vollzug Nr. 0609. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2006), Leitfaden Strassenlärm. Vollzugshilfe für die Sanierung. Umwelt-Vollzug Nr. 0637-D. Bern.

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

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

ECOPLAN und Sinus (2018), Index zur wirtschaftlichen Tragbarkeit (WTI) von Lärmschutzmassnahmen. Sensitivitätsanalyse und Empfehlungen zur Revision. Altdorf/Bern/Sempach Station.

Heritier H. et al. (2017), Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: A nationwide cohort study from Switzerland. *European Journal of Epidemiology* 32, 307–315.

Vienneau D. et al. (2019), Association between transportation noise and cardio-metabolic diseases: an update of the WHO meta-analysis. In ICA 2019, Aachen.

ZKB (2012), Wie Lage und Umweltqualität die Eigenheimpreise bestimmen. Hedonisches Modell für Stockwerkeigentum. Zürich.

ZKB (2019), Auswirkung von Verkehrslärm auf den Preis von Mietwohnungen und Stockwerkeigentum. Zürich.

26. Mai 2021

I Fragebogen Testphase



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,
Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Lärm und NIS

Aktenzeichen: BAFU-360.11-574/50/18/5
Geschäftsfall:

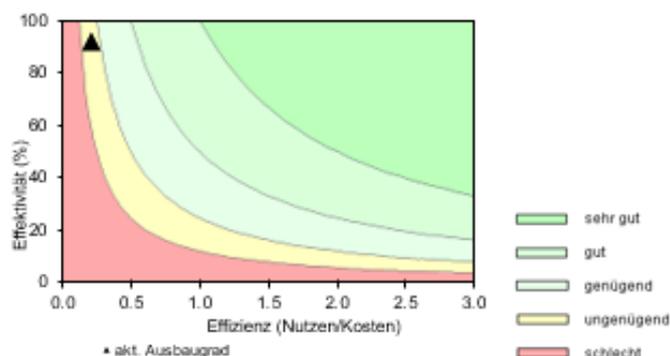
Fragebogen zur Testphase

Fragen zur getesteten Methodik:

1. Erscheinen die Resultate mit der getesteten Methodik für Sie plausibel? Falls nein, wieso nicht?
2. Was hat sich mit der getesteten Methodik Ihrer Ansicht nach verbessert?
3. Was hat sich mit der getesteten Methodik ihrer Ansicht nach verschlechtert? Haben Sie Verbesserungsvorschläge dazu?
4. Sind Sie auf Probleme gestossen bei der getesteten Methodik, wie z.B. bei der Recherche und/oder der Erfassung von Wohneinheiten?
5. Sonstige Bemerkungen zur getesteten Methodik?

Darstellung der Resultate:

6. Inwiefern waren bei der bisherigen WTI-Methodik die WTI-Beurteilungsklassen von Nutzen (siehe Abbildung unten)? Sollten diese beibehalten werden?



7. Die Veränderung der WTI-Formel führt dazu, dass die Bandbreite der resultierenden WTI-Werten kleiner wird. Bei bspw. 100%-Effektivität erstreckt sich die Bandbreite der WTI-Werte bisher von 0.0–6.0, neu von 0.75–2.25 (s. vereinfachtes Schema unten).

26. Mai 2021

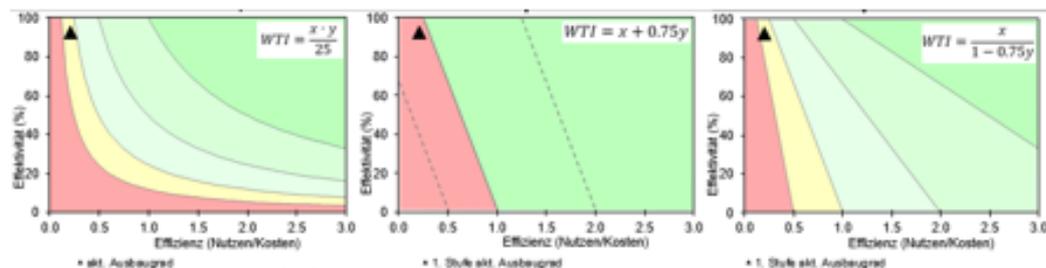
Aktenzeichen: BAFU-360.11-574/50/18/5

Effekt	Bisherige WT-Methodik						Effekt	Getestete WT-Methodik						
	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25		1.5	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25
100%	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3
90%	0.0	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.4	0.7	0.9	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2
80%	0.0	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1
70%	0.0	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0
60%	0.0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0
50%	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9
40%	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	0.3	0.6	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8
30%	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	0.2	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7
20%	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	0.2	0.4	0.7	0.9	1.2	1.4	1.7
10%	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.3	0.6	0.8	1.1	1.3	1.6
0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5

Eine Möglichkeit diesem Umstand Rechnung zu tragen, ist dass die Werte neu auf zwei Stellen nach dem Komma angegeben werden.

Eine andere Möglichkeit ist die WT-Formel umzuformen zu: $WTI = \text{Effizienz} / (1 - 0.75 \cdot \text{Effektivität})$. Durch diese Formel würden die WTI-Werte, wie auch die WTI-Linien 0.5, 2 und 4 am ähnlichen Ort befinden wie bisher; die für die Beurteilung massgebende WTI=1-Linie wäre aber an derselben Position wie bei der von Ihnen getesteten WT-Methodik. Der Nachteil ist, dass die Formel komplizierter und somit weniger nachvollziehbar ist.

Zur Illustration befinden sich unten die WTI-Diagramme mit bisheriger Formel (links), der Formel der Testphase (mittig) und der angesprochenen möglichen Anpassung (rechts).



Wie beurteilen Sie diese Möglichkeiten?

8. Sonstige Bemerkungen zur Darstellung der Resultate?

Übersichtlichkeit und Bedienfreundlichkeit neues Excel-Tool:

- Wie übersichtlich finden Sie das Register 'Bericht WTI ... Anlage'? Wo sehen Sie Verbesserungspotenzial? (Das provisorische Excel-Tool enthält momentan noch die Ergebnisse der bisherigen Methodik, um einen Vergleich zuzulassen. Dieser Teil würde zukünftig natürlich nicht mehr ersichtlich sein)
- Wie bedienerfreundlich finden Sie das Excel-Tool, v.a. hinsichtlich der Eingabemaske im Register 'Lärmbelastungen'?
- Sonstige Bemerkungen zum neuen Excel-Tool?

Effektivität:

- Bei hohen Grenzwertüberschreitungen ist es schwieriger eine sehr gute Effektivität (rechtliche Zielerreichung) zu erreichen. Hat dieser Umstand in der Vergangenheit bei Projekten von Ihnen dazu geführt, dass Massnahmen, welche Sie als sinnvoll erachtet haben, nicht als verhältnismässig eingestuft wurden ($WTI < 1$)? Falls ja, in welchen Fällen?

Aktenzeichen: BAFU-360.11-574/5018/5

13. Wie könnte dieser Umstand Ihrer Ansicht nach verbessert werden?

Sonstige Bemerkungen:

14. Haben Sie sonstige Bemerkungen, welche Sie uns bei der Überarbeitung der WTI Methodik mitgeben wollen?

Vielen Dank für das Testen der überarbeiteten Methodik und Ihre wertvolle Rückmeldung dazu.