

09
06

> Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen

Optimierung der Interessenabwägung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

09
—
06

> Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen

Optimierung der Interessenabwägung

Ergänzung zur BUWAL-Schriftenreihe Umwelt Nr. 301

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

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

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autoren

Markus Bichsel, Grolimund & Partner AG, Bern

Walter Muff, Grolimund & Partner AG, Bern

Begleitung BAFU

Sandro Ferrari, Abt. Lärmbekämpfung (BAFU)

Gregor Schguanin, Abt. Lärmbekämpfung (BAFU)

Zitervorschlag

Bichsel M., Muff W. 2006: Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Optimierung der Interessenabwägung. Umwelt-Vollzug Nr. 0609.

Bundesamt für Umwelt, Bern. 61 S.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch

Titelfoto

Lärmschutz A2 Chiasso, Richtung Nord

Download PDF

www.umwelt-schweiz.ch/publikationen

(eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich)

Code: UV-0609-D

© BAFU 2006

Inhalt

Abstracts	5	5	Schlussfolgerungen / Sensitivität	26
Vorwort	7	5.1	Schlussfolgerungen	26
Zusammenfassung	8	5.2	Sensitivität	27
<hr/>		<hr/>		
1 Auftrag und Zielsetzung	11	6	Berechnungsmodul	28
<hr/>		<hr/>		
2 Ausgangslage	12	Beilagen		29
2.1	Das Modell nach SRU Nr. 301			12
2.2	Problemstellung			14
2.3	Lösungsansatz			15
<hr/>		<hr/>		
3 Vorgehen / Methodik	17			
3.1	Ziel			17
3.2	Vorgehen			17
3.3	Rahmenbedingungen			17
3.4	Grundlagen bereits untersuchte Projekte			18
3.5	Untersuchte Bebauungsstrukturen und Lärmschutzmassnahmen			18
3.6	Untersuchungsmatrix			19
3.7	Kostengrundlagen und Lebensdauer Lärmschutzmassnahmen			20
3.8	Grobabschätzung BAFU / ASTRA			20
<hr/>		<hr/>		
4 Untersuchungsergebnisse	21			
4.1	Dokumentation der Resultate			21
4.2	Lärmschutzwände			22
4.3	Beläge			22
4.4	Lärmschutzwände und Belag, Wirkung –3 dBA, Liegedauer 25 Jahre			23
4.5	Lärmschutzwände und Belag, Wirkung –5 dBA, Liegedauer 12.5 Jahre			23
4.6	Lärmschutzwände und Belag, Wirkung –5 dBA, Liegedauer 25 Jahre			24
4.7	Überdeckungen			24
4.8	Überdeckungen in Kombination mit Belägen			25

> Abstracts

In applying the Law relating to the Protection of the Environment, noise emission must be limited according to the principles of economic acceptability and appropriateness. The present document provides a more detailed treatment than given in Environmental Series no. 301 "Economic acceptability and appropriateness of noise abatement measures". The document enables the applicable legal provisions to be enforced on an objective basis. The assessment is performed using a new method, which is based on a comparison of the cost to the national economy and the benefit arising from noise abatement measures, and applies the WT index as sole parameter. Recording and quantification of the basic data is performed by means of a detailed analysis based on the existing simulation procedure.

In Anwendung des Umweltschutzgesetzes sind Lärmemissionen nach den Grundsätzen der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit zu begrenzen. Das Dokument stellt eine Präzisierung der Schriftenreihe Umwelt Nr. 301 «Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen» dar. Es ermöglicht den Vollzug der entsprechenden Gesetzesartikel auf einer objektiven Basis. Die Beurteilung erfolgt aufgrund einer Gegenüberstellung der volkswirtschaftlichen Kosten und des Nutzens von Lärmschutzmassnahmen mit einer neuen Methode über den WT-Index als Einzahlkennwert. Die Erfassung und Quantifizierung der Grundlagendaten erfolgt mit Präzisierungen nach dem bisherigen Modell.

La loi sur la protection de l'environnement stipule que les émissions de bruit doivent être limitées dans la mesure de ce qui est économiquement supportable et en vertu du principe de la proportionnalité. Le présent document apporte des précisions au Cahier de l'environnement N° 301 « Caractère économiquement supportable et proportionnalité des mesures de protection contre le bruit ». Il permet en particulier une application de la loi selon des bases objectives. L'appréciation consiste à confronter les coûts économiques et l'utilité des mesures de lutte contre le bruit selon une nouvelle méthode reposant sur l'indice WTI, soit un indicateur unique. Le recensement et la quantification des données de base obéit au modèle appliqué jusqu'ici, avec certaines précisions toutefois.

In applicazione della legge sulla protezione dell'ambiente, le emissioni foniche devono essere limitate secondo i principi della sostenibilità e della proporzionalità economica. Il documento fornisce precisazioni sulla pubblicazione n. 301 «Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen» della Serie Scritti sull'ambiente. Inoltre, permette di attuare su basi oggettive i relativi articoli di legge. La valutazione avviene confrontando i costi e i benefici delle misure contro l'inquinamento fonico utilizzando un nuovo metodo basato sull'utilizzo del «WT-Index» quale parametro singolo. Il rilevamento e la quantificazione dei dati di base avviene applicando il principio delle precisazioni secondo il modello utilizzato sinora.

Keywords

noise abatement,
appropriateness of noise
abatement measures,
reconciliation of interests

Stichwörter

Lärmschutz,
Verhältnismässigkeit von
Lärmschutzmassnahmen,
Interessenabwägung

Mots-clés

protection contre le bruit,
proportionnalité des mesures de
lutte contre le bruit,
pesée des intérêts

Parole chiave

protezione contro l'inquinamento
fonico,
proporzionalità dei provvedimenti
contro l'inquinamento fonico,
ponderazione degli interessi

> Vorwort

Obschon Strassen mit übermässigen Lärmemissionen nach dem Umweltschutzgesetz zu sanieren sind, stellt sich bei Investitionsentscheiden für Lärmschutzmassnahmen regelmässig die Frage, ob die Kosten für Bau, Betrieb und Unterhalt von Massnahmen durch ihren volkswirtschaftlichen Nutzen gerechtfertigt sind. Weiter ist von Belang, ob überwiegende Interessen namentlich des Ortsbild-, Natur- und Landschaftsschutzes sowie der Verkehrs- und Betriebssicherheit der Sanierung entgegenstehen.

Diese Beurteilung der Kostenverhältnismässigkeit und Interessenabwägung soll auf einer einheitlichen Grundlage erfolgen. 1998 veröffentlichte das damalige Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) die Schriftenreihe Nr. 301 «Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen».

Zwischenzeitlich gilt der damals entwickelte Ansatz der Monetarisierung von Lärmbelastungen als anerkannte Methode für die Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten von Lärmschutzmassnahmen. In der praktischen Anwendung zeigte sich aber, dass die Beurteilung anhand des Effizienz-Effektivitäts-Diagramms gerade bei Projekten mit hohen Investitionskosten wie z.B. Überdeckungen oft zu unklaren oder nicht hinreichend schlüssigen Ergebnissen führte.

Der vorliegende Bericht stellt eine wichtige Präzisierung der Schriftenreihe Nr. 301 dar. Anhand verschiedener Sanierungsprojekte wurde der bestehende Modellansatz weiterentwickelt. Neu sind differenzierte Beurteilungen anhand eines Einzahl-Kennwertes möglich. Das Verfahren bietet Gewähr, dass Diskussionen über die Kostenverhältnismässigkeit bei der Beurteilung der Interessenabwägung von Lärmschutzmassnahmen zukünftig auf einer objektiven Basis geführt werden können.

Die neue Beurteilungsgrundlage ist Bestandteil des Leitfadens Strassenlärmsanierung, den das Bundesamt für Umwelt (BAFU) gemeinsam mit dem Bundesamt für Strassen (ASTRA) erarbeitet hat. Für Sanierungsprojekte ab einer bestimmten Grössenordnung wird deshalb die Beurteilung nach dem neuen Verfahren zur Pflicht.

Urs Jörg
Chef Abteilung Lärmbekämpfung
Bundesamt für Umwelt BAFU

> Zusammenfassung

Ausgangslage

Für die Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen steht das Modell Schriftenreihe Umwelt Nr. 301 (SRU Nr. 301) zur Verfügung.

Das Modell besteht aus zwei Vorgehensstufen, die dem unterschiedlichen Stand und Detaillierungsbedarf der zu beurteilenden Lärmschutzprojekte Rechnung tragen:

Schritt A:

- > Berechnung der Obergrenze der volkswirtschaftlichen Tragbarkeit für Lärmschutzmassnahmen zur Abschätzung in welchen Grössenordnungen sich die Kosten für zukünftige Massnahmen bewegen dürfen.

Schritt B:

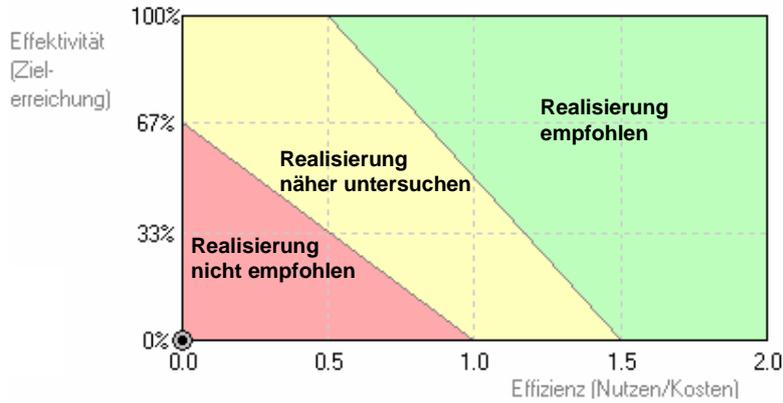
- > Interessenabwägung anhand der Kriterien Effizienz (Nutzen/Kosten) und Effektivität (Zielerreichung bezüglich den Grenzwerten der LSV) und
- > qualitative Beurteilung möglicher Konflikte mit anderen volkswirtschaftlich relevanten aber nicht monetarisierbaren Aspekten (Ortsbild, Landschaft, Ökologie, Wohnqualität Anwohner, Verkehrssicherheit, Andere).

Die Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit (WTV) von Lärmschutzmassnahmen nach der SRU Nr. 301 des BAFU stellt eine gute und nützliche Arbeitshilfe dar. Der Nachweis der WTV gehört mehr und mehr zum Standard von Planungs- und Projektierungsarbeiten.

Das Modell in der heutigen Form ergibt aber oft unklare oder nicht hinreichend schlüssige Resultate. Offen ist die Gewichtung von Effektivität und Effizienz für Projekte innerhalb derselben Beurteilungsklassen. Zudem fallen viele Bewertungen in den Bereich «Realisierung näher untersuchen» und sind damit nur bedingt aussagekräftig.

Die Beurteilung der WTV sollte jedoch bei allen Arten von Sanierungsmassnahmen brauchbare Resultate ergeben und eindeutige Ergebnisse liefern. Im Auftrag des BAFU sollte deshalb das bestehende Verfahren in diesem Sinne weiter entwickelt werden. Ziel war es, einen Einzahlkennwert für die eindeutige Beurteilung der WTV zu finden und diesen mit den bisherigen Beurteilungskriterien zu vergleichen. Die Untersuchungen beschränken sich auf die Verfeinerung der Beurteilung der Interessenabwägung (Schritt B.1 des Modells SR-Umwelt Nr. 301).

Abb. 1 > Effizienz-Effektivitäts-Diagramm nach SRU Nr. 301.

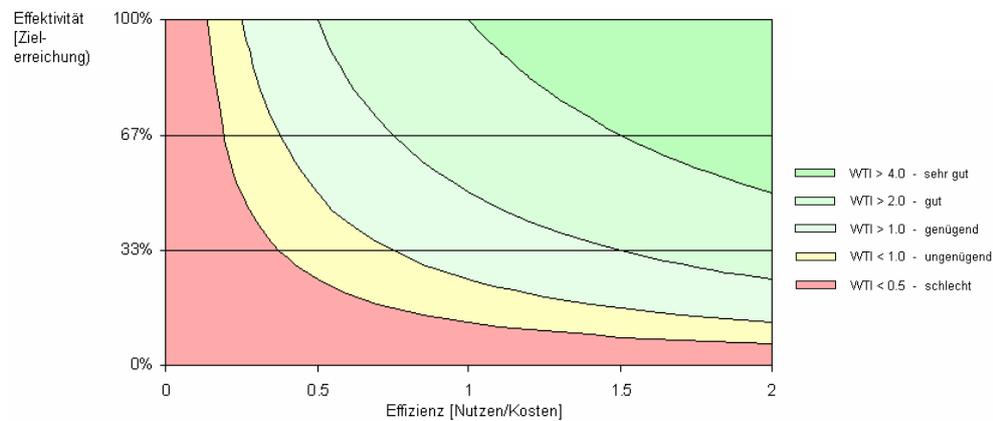


Lösungsansatz

Vorgeschlagen wird neu die Berechnung eines WT-Indexes (WTI) auf der Basis des bisherigen Modells SRU Nr. 301. Die Berechnung und Monetarisierung des maximal möglichen Nutzens (Schritt A) sowie die Interessenabwägung (Schritt B) erfolgen wie bis anhin. Die Beurteilung im Schritt B.1 hingegen wird verfeinert und ergibt eindeutige Resultate. Der WT-Index berechnet sich wie folgt:

$$\text{WTI} = \text{Effektivität} * \text{Effizienz} / 25$$

Abb. 2 > Vorschlag neues Effizienz-Effektivitäts-Diagramm.



Die Beurteilung des WTI erfolgt für die Klassen:

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

Untersuchungen

Mit Modellrechnungen für verschiedene, standardisierte Bebauungsstrukturen und unterschiedliche Sanierungsmassnahmen wurde obige Hypothese überprüft. Zudem wurden die Resultate mit den Ergebnissen bereits vorhandener WTV-Untersuchungen sowie der von BAFU und ASTRA bisher verwendeten Beurteilungshilfen für Lärmschutzprojekte (Maximalkosten pro geschütztes Haus, Maximalkosten pro geschützte Wohnung, Maximalkosten pro geschütztem Einwohner und Lärmreduktion in dBA) verglichen.

Ergebnisse

Aus den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- > Die Beurteilung von Projekten über den WT-Index (WTI) stimmt in den eindeutigen Bereichen «Realisierung empfohlen» resp. «Realisierung nicht empfohlen» gut mit dem herkömmlichen Modell nach SRU Nr. 301 überein.
- > Für den Bereich «Realisierung näher untersuchen» steht mit dem WTI ein Instrument zur Verfügung, welches deutlich bessere Beurteilungen und Variantenvergleiche ermöglicht als das bisherige Modell.
- > Die Untersuchungsergebnisse haben damit die Arbeitshypothese bezüglich dem neu vorgeschlagenen WTI sowie den 5 Beurteilungsklassen bestätigt.
- > Für Grobabschätzungen und für einfachere Projekte eignet sich auch eine Maximalkostenbetrachtung über das Kriterium:
 - Fr. 5'000.– pro dBA Massnahmenwirkung und Einwohner (Fr./dBA * Einwohner). Für Massnahmen zum Schutz von Einzelliegenschaften und kleinen Gebäudegruppen eignen sich zur Beurteilung die Maximalkosten pro Liegenschaft (Fr./Liegenschaft). Dieser Wert ist abhängig von der Grösse des Objektes sowie dessen Zustand, Nutzung und Lage. Für ländliche und halbstädtische Verhältnisse erscheint eine Grössenordnung von ca. Fr. 250'000.– vernünftig, für städtische Verhältnisse und grössere Mehrfamilienhäuser ist dieser Betrag zu tief. Kaum brauchbare Beurteilungen ergeben sich über die Kostenbetrachtung pro Wohnung.

Berechnungsmodul

Für die Anwendung der vorliegenden Vollzugshilfe wurde ein Berechnungsmodul entwickelt, welches zum Download zur Verfügung steht (siehe Kapitel 6).

1 > Auftrag und Zielsetzung

Die Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit (WTV) von Lärmschutzmassnahmen anhand des Effizienz-/Effektivitätsdiagrammes nach der Schriftenreihe Umwelt Nr. 301 des BAFU stellt eine gute und nützliche Arbeitshilfe dar. Sie gehört mehr und mehr zum Standard entsprechender Planungs- und Projektierungsarbeiten. Bei künftigen Lärmsanierungsprojekten wird der Nachweis der WTV zur Pflicht.

In der Praxis ergeben sich aber oft unklare oder nicht hinreichend schlüssige Beurteilungen. Dies ist beispielsweise bei hoher Effektivität und hohen Kosten der Fall (z.B. bei Überdeckungen), oder bei geringer Effektivität und geringen Kosten (z.B. bei zwar kostengünstigen, aber kaum wirksamen Lärmschutzwänden). Zudem fallen viele Beurteilungen in den Bereich «Realisierung näher untersuchen» und sind damit nur bedingt aussagekräftig.

Die Beurteilung der WTV sollte jedoch bei allen Arten von Sanierungsmassnahmen brauchbare Resultate ergeben und eindeutige Ergebnisse liefern.

Im Auftrag des BAFU sollte deshalb das bestehende Verfahren in diesem Sinne weiter entwickelt werden. Ziel war es, einen Einzahlkennwert für die eindeutige Beurteilung der WTV zu finden und diesen mit den bisherigen Beurteilungskriterien zu vergleichen. Die Untersuchungen beschränken sich auf die Verfeinerung der Beurteilung der Interessenabwägung (Schritt B.1 des Modells SR-Umwelt Nr. 301).

2 > Ausgangslage

2.1 Das Modell nach SRU Nr. 301

Bei der Realisierung von Lärmschutzmassnahmen wie Lärmschutzwänden, Belagssanierungen und Überdeckungen stellen sich neben grundsätzlichen Finanzierungsproblemen auch immer wieder Fragen zur Effizienz der eingesetzten finanziellen Mittel. Das Umweltschutzgesetz USG und die Lärmschutzverordnung LSV kennen diesbezüglich die beiden Begriffe «wirtschaftliche Tragbarkeit» und «Verhältnismässigkeit» (z.B.: USG Art. 11, 17, 25; LSV Art. 7, 8, 13), ohne sie allerdings genauer zu definieren.

Aus diesem Grund wurde vom BAFU ein Modell entwickelt, welches mittels einer Monetarisierung der Lärmbelastungen die wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen beurteilt. Dieses Modell ist in der Schriftenreihe Umwelt SRU Nr. 301, BAFU 1998, beschrieben.

Die Beurteilung erfolgt aufgrund einer Gegenüberstellung der volkswirtschaftlichen Kosten und des Nutzens von Lärmschutzmassnahmen. Die Erfassung und Quantifizierung dieser beiden Grössen bilden den Kern des Modells.

Die Kosten von Lärmschutzmassnahmen entsprechen dabei den für die Projektierung, die Realisierung, den Betrieb sowie den Unterhalt der Massnahmen aufzuwendenden finanziellen Mitteln.

Der Nutzen von Lärmschutzmassnahmen wird definiert als volkswirtschaftliche Lärmkosten, welche durch die Massnahmen bei den betroffenen Anwohnern vermieden werden können. Die Differenz zwischen den Lärmkosten ohne und mit Massnahmen entspricht dem volkswirtschaftlichen Nutzen der Massnahmen. Die Monetarisierung der volkswirtschaftlichen Lärmkosten erfolgt über das hedonistische Preisbildungsmodell, welches die Zahlungsbereitschaft für eine Lärmentlastung über die Analyse von Mietpreisen in unterschiedlich belärmten Wohnlagen ermittelt. Studien im In- und Ausland haben diesbezüglich ergeben, dass eine Reduktion des Lärms um 1 Dezibel den Mietpreis um rund 1 Prozent erhöht (Mietpreisfaktor).

Das Modell folgt einem zweistufigen Vorgehen:

- A Berechnung und Monetarisierung des maximal möglichen Nutzens und
- B Interessenabwägung.

Im **Schritt A** wird unabhängig von konkreten Lärmschutzmassnahmen der maximal mögliche Nutzen bezüglich der vorhandenen und der potentiell möglichen Bebauung im Immissionsbereich der Lärmquelle ermittelt. Dieser Maximalnutzen ist somit identisch mit den bestehenden volkswirtschaftlichen Kosten und gibt gleichzeitig einen ersten Hinweis darüber, in welchen Grössenordnungen sich die Kosten für zukünftige Lärmschutzmassnahmen maximal bewegen dürfen.

Schritt A:
Maximal möglicher Nutzen

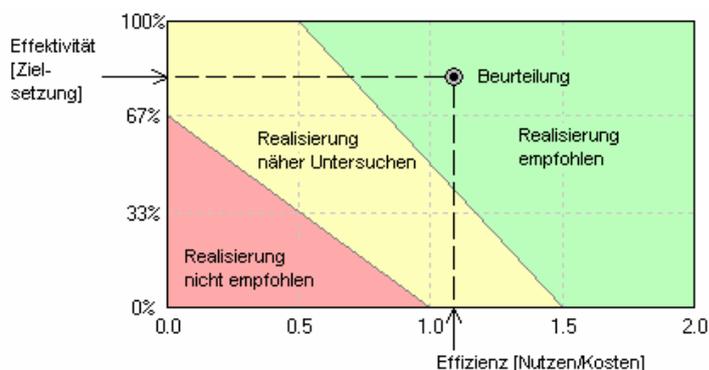
Im **Schritt B** erfolgt die Interessenabwägung anhand der beiden Kriterien Effizienz und Effektivität:

Schritt B:
Effizienz und Effektivität

- > Die Effizienz definiert das Verhältnis zwischen dem volkswirtschaftlichen Nutzen und den Kosten für Lärmschutzmassnahmen (in Jahresaufwendungen umgerechnete Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten).
- > Die Effektivität entspricht dem Zielerreichungsgrad, d.h. sie gibt an, welcher Anteil der gesetzlich vorgeschriebenen Schutzwirkung (Einhaltung der Belastungsgrenzwerte) durch die Lärmschutzmassnahmen erreicht wird.

Diese beiden Kriterien werden in einer Effizienz-Effektivitäts-Beurteilung gegenübergestellt. Daraus lässt sich für die geplanten Lärmschutzmassnahmen eine Empfehlung bezüglich der Realisierung und des weiteren Vorgehens ableiten (siehe Abbildung 2.1.1).

Abb. 3 > Effizienz-Effektivitäts-Diagramm.



Als zusätzliche Kriterien für die Bestimmung volkswirtschaftlicher Kosten von Lärmschutzmassnahmen müssen mögliche Konflikte mit anderen Interessen (Ortsbild, Landschaftseingriff, Ökologie, Wohnqualität der Anwohner, Verkehrssicherheit und andere Auswirkungen) nach dem Mass der Beeinträchtigung (gering, mittel oder stark) mit in die Beurteilung einfließen. Diese Aspekte lassen sich nicht nach betriebswirtschaftlichen Kriterien erfassen und monetarisieren, sie müssen sich an qualitativen Kriterien orientieren.

Tab. 1 > Checkliste Beurteilung von Beeinträchtigungen durch Lärmschutzmassnahmen.

	Mass der Beeinträchtigung		
	gering	mittel	stark
Auswirkungen auf das Ortsbild			
Beurteilung des Landschaftseingriffes			
Ökologische Auswirkungen (Trennwirkung für Tiere, Wasserhaushalt u.a.)			
Auswirkungen auf die Wohnqualität der Anwohner (Lichteinfall, Sichtverhältnisse u.a.)			
Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit			
Andere Auswirkungen			

Geringe Beeinträchtigungen brauchen im weiteren Verlauf der Planung nicht weiter behandelt zu werden.

Geringe Beeinträchtigungen

Bei mittleren Beeinträchtigungen wird das Lärmschutzprojekt als Ganzes nicht in Frage gestellt, die Priorität des Lärmschutzes wird anerkannt. Die möglichen Konflikte sind aber mit Betroffenen und Fachexperten zu diskutieren und wenn möglich durch Projektanpassungen zu entschärfen.

Mittlere Beeinträchtigungen

Treten in einem oder mehreren Bereichen so starke Beeinträchtigungen auf, dass sie aufgrund der Beurteilung von Fachexperten nicht tolerierbar sind, so werden die negativen Folgen des Projektes als gewichtiger beurteilt als die Anliegen des Lärmschutzes. In diesem Fall ist mit Betroffenen und Fachexperten nach Alternativen zu suchen.

Starke Beeinträchtigungen

2.2 **Problemstellung**

Die Erfahrungen mit der Beurteilung der Effektivität und der Effizienz nach der herkömmlichen Methode zeigen, dass sich daraus sehr oft das Ergebnis «Realisierung näher untersuchen» ergibt. Diese Beurteilung gilt nach dem Modell auch für die beiden folgenden Betrachtungen:

- > Grenzeffektivität, d.h. bei hoher Effektivität können die Kosten sehr hoch sein (geringe Effizienz) und

- > Grenzeffizienz, d.h. bei hoher Effizienz kann die Zielerreichung (Effektivität) sehr gering sein.

Im vorhandenen Modell ist nicht definiert, wie und nach welchen Kriterien eine Beurteilung im Bereich «Realisierung näher untersuchen» erfolgen soll.

Zudem ist der Vergleich mehrerer Varianten unübersichtlich, da jeweils pro Variante 2 Kennzahlen (Effizienz und Effektivität) verwendet werden. So ergibt dies z.B. beim Vergleich von 3 Varianten 6 Kennwerte, bei 4 Varianten 8 Kennwerte etc.

2.3 Lösungsansatz

Vorgeschlagen wird neu die Berechnung eines WT-Indexes (WTI) auf der Basis des bisherigen Modells SRU Nr. 301. Die Berechnung und Monetarisierung des maximal möglichen Nutzens (Schritt A) sowie der Interessenabwägung (Schritt B.1) erfolgen wie bis anhin. Die Beurteilung im Schritt B.1 hingegen wird verfeinert und ergibt dadurch eindeutige Resultate auch im Bereich der oben beschriebenen Grenzbetrachtungen.

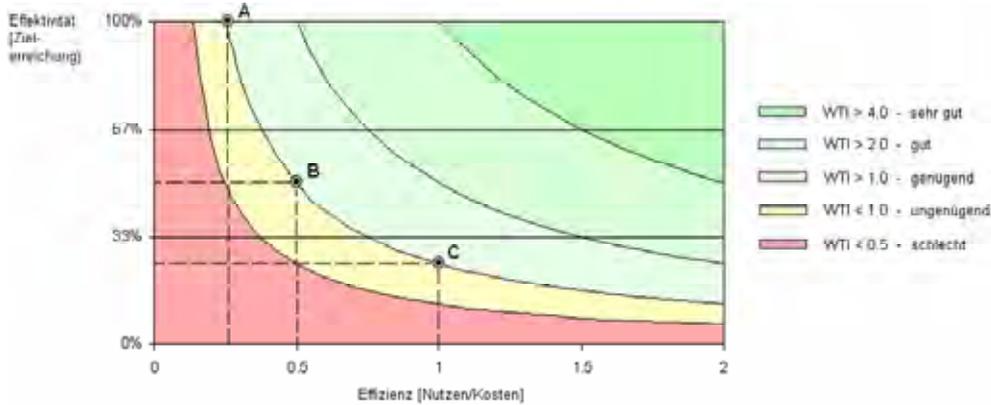
Der WT-Index berechnet sich wie folgt:

$$\text{WTI} = \text{Effektivität} * \text{Effizienz} / 25$$

Die Beurteilung des WTI erfolgt für die Klassen:

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

Abb. 4 > Vorschlag neues Effizienz-Effektivitäts-Diagramm.



Die Grenze für eine Beurteilung «genügend» resp. $WTI \geq 1.0$ wird als Arbeitshypothese wie folgt definiert:

- > Bei einer Effektivität (Zielerreichung) von 100% dürfen die volkswirtschaftlichen Kosten 4 mal höher sein als der Nutzen (Effizienz = 0.25; Effektivität = 100%; $WTI = 1.0$), Punkt A in der Abbildung 2.3.
- > Bei einer Effektivität von 50% dürfen die volkswirtschaftlichen Kosten doppelt so gross sein wie der Nutzen (Effizienz = 0.5; Effektivität = 50%; $WTI = 1.0$), Punkt B in der Abbildung 2.3.
- > Bei einer Effektivität von nur 25% dürfen die volkswirtschaftlichen Kosten gleich hoch sein wie der Nutzen (Effizienz = 1.0; Effektivität = 25%; $WTI = 1.0$), Punkt C in der Abbildung 2.3.

Diese Definitionen führen zu einer Funktion, welche die Beurteilung genügend bis sehr gut (grün) von der Beurteilung ungenügend bis schlecht (gelb/rot) trennt. Die beiden Hauptbereiche grün ($WTI \geq 1$) und gelb/rot ($WTI < 1$) werden für die Beurteilung in 5 WTI-Klassen weiter verfeinert (<0.5 ; <1 ; ≥ 1 ; >2 ; >4).

3 > Vorgehen / Methodik

3.1 Ziel

Mit WTV-Modellrechnungen für verschiedene, standardisierte Bebauungsstrukturen und unterschiedliche Schallschutzmassnahmen wurde die obige Hypothese überprüft. Zudem sollten die Resultate mit den Ergebnissen bereits vorhandener WTV-Untersuchungen sowie den von BAFU und ASTRA verwendeten Grobabschätzungen für Lärmschutzprojekte (Maximalkosten pro geschütztes Haus, Maximalkosten pro geschützte Wohnung und Maximalkosten pro geschütztem Einwohner und Lärmreduktion in dBA) verglichen werden.

3.2 Vorgehen

Es wurde das folgende Vorgehen angewandt:

- > Beschaffung von Strassenlärmsanierungsprojekten mit vorhandenen WTV-Untersuchungen beim BAFU und den Kantonen.
- > Definition der Kostengrundlagen für Lärmschutzmassnahmen.
- > Bestimmung der standardisierten Bebauungsstrukturen für die WTV-Modellrechnungen.
- > Definition der Untersuchungsmatrix (Kombination Massnahmentyp mit Bebauungsstruktur).
- > Durchführung von Modellrechnungen und Berechnung der Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit, der Effizienz, der Effektivität und des WT-Indexes (WTI).
- > Vergleich der Beurteilung nach dem neu definierten Ansatz mit der Beurteilung nach SRU Nr. 301 sowie den Grobbeurteilungskriterien von BAFU und ASTRA.

3.3 Rahmenbedingungen

Im Rahmen dieser Studie wurden jene Lärmschutzmassnahmen nicht mitberücksichtigt, welche keine direkten Lärmschutzkosten verursachen (z.B. Geschwindigkeitsreduktionen, Änderungen am Verkehrsregime). Ebenfalls nicht mitberücksichtigt wurden die Kosten von Fenstersanierungen als Ersatzmassnahme nach gewährten Erleichterungen.

3.4 Grundlagen bereits untersuchte Projekte

Die Nachfragen beim BAFU und bei den kantonalen Lärmschutzfachstellen ergaben, dass im Rahmen von bewilligten oder im Bewilligungsverfahren stehenden Sanierungsprojekten nur bei wenigen Projekten WTV-Berechnungen nach dem Modell SRU Nr. 301 durchgeführt wurden. Bei Grolimund & Partner AG waren weitere WTV-Berechnungen vorhanden, welche für Variantenstudien erstellt wurden.

Folgende 11 Projekte mit ausreichend dokumentierten WTV-Untersuchungen (ausschliesslich entlang von Autobahnen) konnten somit für die Untersuchungen verwendet werden:

- > A1 Birrhard: Lärmschutzwände und Beläge
- > A1 Brunegg: Lärmschutzwände und Beläge
- > A2 Capolago: Lärmschutzwände und absorbierende Stützwandverkleidungen
- > A12 Chamblioux: Überdeckung
- > A2 Erstfeld: Überdeckung
- > A2 Erstfeld – Amsteg: Lärmschutzwände und Beläge
- > A3 Frick: Belag, Halbüberdeckung und Lärmschutzwanderhöhung
- > A1 Lenzburg: Lärmschutzwände, Beläge und Halbüberdeckung
- > A1 Othmarsingen: Lärmschutzwände und Beläge
- > A2 Seedorf – Amsteg: Beläge
- > A2 Zofingen: Halbüberdeckung

Die Projekte sind in den Beilagen 1 bis 11 beschrieben.

3.5 Untersuchte Bebauungsstrukturen und Lärmschutzmassnahmen

Für die Modellrechnungen wurden drei standardisierte Bebauungsstrukturen definiert (siehe Beilage 12):

- > Struktur mit eher städtischem Charakter: dichte Bebauung mit 9 Gebäuden von 3 bis 12 Geschossen mit 170 Wohnungen und 510 Einwohnern (3 pro Wohnung)
- > Struktur mit eher halbstädtischem Charakter: Bebauung mit 12 Gebäuden von 3 bis 4 Geschossen mit 58 Wohnungen und 174 Einwohnern (3 pro Wohnung)
- > Struktur mit eher ländlichem Charakter: aufgelockerte Bebauung mit 12 Gebäuden von 1 bis 3 Geschossen mit 14 Wohnungen und 42 Einwohnern (3 pro Wohnung).

Als Lärmquelle wurde eine vierspurige Autobahn (Breite = 20m) definiert. Die Emissionen wurden so gewählt, dass sich im Ausgangszustand ohne Massnahmen bei den Empfängerpunkten Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes der Empfindlichkeitsstufe ES III von maximal 8 dBA ergaben. Der Ansatz gilt im Rahmen der Genauigkeit der Betrachtungen auch für eine Situation mit halbiertem Verkehr und halbem Abstand der Bebauung zur Strasse, d.h. für stark befahrene Hauptstrassen.

Folgende Lärmschutzmassnahmen wurden mit Modellrechnungen untersucht:

- > Lärmschutzwände mit Wandhöhen von 2 bis 5 Metern.
- > Lärmindernde Strassenbeläge; unterschieden wurde zwischen einem Sanierungsbelag mit einer Wirkung von -3 dBA gegenüber dem Ursprungsbelag und einer Liegedauer von 25 Jahren (Beispiel: Ersatz eines alten Betonbelages mit $K_B = +5$ dBA durch einen AC 11-Belag mit $K_B = +2$ dBA), einem Sanierungsbelag mit einer Wirkung von -5 dBA und einer Liegedauer von 12.5 Jahren (Beispiel: Ersatz eines AC 11-Belages mit $K_B = +2$ dBA durch einen PA 8/11-Belag mit $K_B = -3$ dBA) sowie einem Sanierungsbelag mit einer Wirkung von -5 dBA und einer Liegedauer von 25 Jahren. Die in der WTV-Berechnung berücksichtigte Wirkung von 3 resp. 5 dBA entspricht der Pegeldifferenz zwischen dem Sanierungsbelag und dem zu sanierenden Ursprungsbelag und ist nicht zu verwechseln mit der Emissionskorrektur des Belages gegenüber dem Modell StL-86+.
- > Kombination von Lärmschutzwänden mit lärmindernden Strassenbelägen.
- > Überdeckungen mit Längenvarianten der Überdeckung von 100%, 66% und 33% des Siedlungsgebietes.
- > Kombination von Überdeckungen (66% und 33% des Siedlungsgebietes) mit lärmindernden Strassenbelägen auf den nicht überdeckten Strecken. Dieser Ansatz entspricht in etwa auch dem Ansatz: Überdeckung mit anschliessenden Lärmschutzwänden zum Schutz gegenüber den nicht überdeckten Strecken.

3.6

Untersuchungsmatrix

Aufgrund der oben definierten Bebauungsstrukturen und Lärmschutzmassnahmen wurden Modellrechnungen für die in der nachfolgenden Matrix beschriebenen Fälle vorgenommen.

Tab. 2 > Untersuchungsmatrix mit durchgeführten WT-Modellrechnungen (grau).

Bebauungsstrukturen	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A Städtischer Charakter	A I	A II	A III	A IV	A V
B halbstädtischer Charakter	B I	B II	B III	B IV	B V
C ländlicher Charakter	C I	C II	C III		

Die zwei Kombinationen ländliche Bebauungsstruktur mit Überdeckungen und Überdeckungen + Sanierungsbeläge wurden nicht untersucht, da sich diese Kombinationen schon bei einer einfachen Betrachtung als nicht wirtschaftlich erweisen.

Die Modellrechnungen (Beilagen 13–21) sowie die Vergleichsprojekte (Beilagen 1–11) sind jeweils oben rechts mit dem entsprechenden Code aus der Matrix (Abb. 3.6) gekennzeichnet.

3.7 Kostengrundlagen und Lebensdauer Lärmschutzmassnahmen

Für die Lärmschutzmassnahmen wurden folgende Kosten verwendet:

> Lärmschutzwände	1200.– / m ²
> Sanierungsbelag (Wirkung –3 dBA)	30.– / m ²
> Sanierungsbelag (Wirkung –5 dBA)	35.– / m ²
> Anpassung Entwässerung *	120.– / m'
> zusätzlicher Winterdienst *	10.– / m' pro Jahr
> Monitoring Sanierungsbelag (Liegedauer 12.5 Jahre) *	1440.– / km pro Jahr
> Monitoring Sanierungsbelag (Liegedauer 25 Jahre) *	1160.– / km pro Jahr
> Überdeckung	5000.– / m ²

Die mit * bezeichneten Kosten werden nur für die Sanierungsbeläge mit einer Wirkung von –5 dBA berücksichtigt (Drainbelag).

Die Kosten wurden aufgrund von Sanierungsprojekten von verschiedenen Kantonen ermittelt und von BAFU und ASTRA überprüft.

Weil Sanierungsbeläge auf Autobahnen meist über grössere Distanzen eingebaut werden, wurden die Belagskosten für alle drei Bebauungsstrukturen generell für 1 km berechnet, dies bei einer Länge des Siedlungsgebietes von ca. 300 m.

Die Lebensdauer (Abschreibungszeitraum) von Lärmschutzwänden wurde mit 25 Jahren angenommen, ebenso diejenige von Sanierungsbelägen mit einer Wirkung von –3 dBA. Bei den Sanierungsbelägen mit –5 dBA Wirkung wurden die Auswirkungen einer Liegedauer von 12.5 Jahren und 25 Jahren berechnet. Ein Belag mit einer Liegedauer von 12.5 Jahren wird in 25 Jahren 2 mal eingebaut und verursacht dementsprechend höhere Belagskosten. Für Überdeckungen wurde eine Lebensdauer von 50 Jahren angenommen.

3.8 Grobabschätzung BAFU / ASTRA

BAFU und ASTRA haben in der Vergangenheit, neben dem Modell SRU Nr. 301, auch einfache Grobabschätzungen zur Überprüfung der WTV verwendet. Beurteilt wurden dabei die Maximalkosten von Lärmschutzmassnahmen anhand der drei folgenden Kenngrössen:

> Kosten pro geschütztes Haus:	ca. 80'000.– (Kantonsstrassen)
	150'000.– bis 250'000.– (Nationalstrassen)
> Kosten pro dBA Lärmreduktion und Einwohner:	bis 5'000.–
> Kosten pro geschützte Wohnung:	30'000.– bis 40'000.–

4 > Untersuchungsergebnisse

4.1 Dokumentation der Resultate

Die wichtigsten Grundlagen und Ergebnisse der WTV-Untersuchungen vorhandener Projekte sind in den Beilagen 1 bis 11 zusammengefasst. Diese Beilagen enthalten folgende Informationen:

Vorhandene Projekte

- > Kopfzeile mit den wichtigsten Grundinformationen (Massnahmen, Strassentyp, grobe Lokalisierung über den Kanton und die Matrixbezeichnung für die Bebauungsstruktur und den Massnahmentyp gem. Tab. 2).
- > Beschrieb der zu sanierenden Anlage und der betroffenen Gemeinden mit Übersichtsplan über das Untersuchungsgebiet.
- > Matrix der Bebauungsstruktur und der Art der untersuchten Lärmschutzmassnahmen mit Klassierung des Projektes.
- > Kosten der Lärmschutzmassnahmen gemäss den Projektunterlagen.
- > Kennzahlen der Wirtschaftlichkeit (Schritte A: Obergrenzen und B: Interessenabwägung) ergänzt um den WTI.
- > Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit nach den bisherigen Kategorien («Realisierung empfohlen», «Realisierung näher untersuchen», «Realisierung nicht empfohlen») sowie nach dem neuen Ansatz über den WT-Index.

Die ergänzend vorgenommenen Modellrechnungen anhand der drei typisierten Bebauungsstrukturen erfolgten im WT-Modul des Programmes SLIP (Strassenlärm-Immissionsprognosen) von Grolimund & Partner AG. Die Resultate sind in den Beilagen 13 bis 21 zusammengestellt. Diese Beilagen sind wie folgt aufgebaut:

Modellrechnungen

- > Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm mit den Resultaten der Modellberechnungen für die untersuchten Massnahmenvarianten in den drei typisierten Bebauungsstrukturen.
- > Vergleich der Resultate der Modellrechnungen mit der Beurteilung nach den Kategorien des WT-Indexes und nach der Checkliste BAFU/ASTRA. Dabei sind jene Bereiche grau hinterlegt, nach welchen entweder der WT-Index <1.0 ist oder die Kosten für Lärmschutzmassnahmen (pro Haus, pro dBA und Einwohner oder pro Wohnung) höher als die maximal zulässigen Kosten gem. Kapitel 3.8 sind.

Die vorhandenen WTV-Untersuchungen mit gleicher Typisierung bezüglich Bebauungsstrukturen und Lärmschutzmassnahmen sind zum Vergleich mit den Modellrechnungen ebenfalls im Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm abgebildet.

In den nachfolgenden Kapitel 4.2 bis 4.8 werden die Resultate der Modelluntersuchungen in folgender Struktur kommentiert:

- > Generelle Aussagen zur Effizienz der Massnahmengruppe (Nutzen/Kosten)
- > Generelle Aussagen zur Effektivität der Massnahmengruppe (Zielerreichung)
- > Vergleich der Beurteilung nach SRU 301 mit dem neuen Ansatz über den WTI
- > Vergleich mit den vorhandenen Referenzprojekten
- > Bemerkungen bezüglich den einfachen Grobabschätzungen.

4.2

Lärmschutzwände

Beilage 13

- > Die Effizienz nimmt mit zunehmender Bebauungsdichte von ländlich bis städtisch zu, wenn die Hindernisse akustisch korrekt dimensioniert sind. Die optimalen Hindernishöhen für die betrachteten Bebauungsstrukturen betragen 4–5 m im ländlichen und halbstädtischen Gebiet und ≥ 5 m im städtischen Bereich.
- > Die Effektivität nimmt unabhängig von der Hindernishöhe mit zunehmender Bebauungsdichte ab. Mit gleichen Hindernishöhen ist die Effektivität in ländlichen Strukturen wesentlich besser als in städtischen Gebieten. Die Mehrkosten von Wänden werden unterhalb der Grenzeffektivität durch den Mehrnutzen in etwa kompensiert.
- > Nach der herkömmlichen Beurteilungsmethode liegen alle berechneten Varianten im Bereich «Realisierung näher untersuchen». Die Betrachtung über den WTI erlaubt eine wesentlich differenziertere Aussage. So erreicht ein 4 m-Hindernis im halbstädtischen Gebiet eine gute Beurteilung, während für ein 2 m-Hindernis eine ungenügende Interessenabwägung resultiert. In eher ländlichen Bebauungsstrukturen liegt der WTI bei allen untersuchten Hindernishöhen unter 1, d.h. sie werden als ungenügend beurteilt.
- > Das Referenzprojekt Capolago erreicht die Beurteilung «sehr gut» (WTI >14), das Projekt Frick hingegen wird als «ungenügend» bis «schlecht» beurteilt (WTI <0.5).
- > Die Beurteilung gemäss den Kriterien Kosten pro Haus, Kosten pro dBA und Einwohner sowie Kosten pro Wohnung stimmen mit der Beurteilung über den WTI überein. Ausnahme ist das 5 m-Hindernis im städtischen sowie im halbstädtischen Gebiet. Völlige Übereinstimmung ergibt die Betrachtung über die Kosten pro dBA-Wirkung und Einwohner. Bei den Kosten pro Haus dürften die Fr. 250'000.– für städtische Verhältnisse zu gering sein.

4.3

Beläge

Beilage 14

- > Die Effizienz erhöht sich mit zunehmender Bebauungsdichte von ländlich bis städtisch und mit zunehmender Liegedauer der Beläge.
- > Die Effektivität ist alleine abhängig von der akustischen Wirkung des Belages und nicht von der Art der Bebauungsstruktur.
- > Nach der herkömmlichen Beurteilungsmethode liegen alle Varianten für eher städtische Verhältnisse sowie die Bestvariante halbstädtisch im Bereich «Realisierung

empfohlen», alle übrigen Sanierungen im Bereich «Realisierung näher untersuchen». Die Betrachtung über den WTI erlaubt auch hier eine wesentlich differenziertere Aussage. So erreichen die Belagsvarianten für städtische und halbstädtische Verhältnisse gute bis sehr gute Beurteilungen, Belagssanierungen in eher ländlichen Gebieten jedoch ungenügende (WTI <1).

- > Das Referenzprojekt Frick erreicht die Beurteilung «genügend» bis «gut». Die Sanierung des gesamten Urner Unterlandes (Seedorf – Amsteg) wird als «schlecht» beurteilt, die Bebauungsdichte resp. die Anzahl der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Liegenschaften ist hier im Verhältnis zur Streckenlänge zu gering.
- > Die Beurteilung gemäss den Kriterien Kosten pro Haus, Kosten pro dBA und Einwohner sowie Kosten pro Wohnung stimmen mit der Beurteilung über den WTI überein.

4.4 Lärmschutzwände und Belag, Wirkung –3 dBA, Liegedauer 25 Jahre

Beilage 15

- > Die Effizienz nimmt mit zunehmender Bebauungsdichte von ländlich bis städtisch zu. Die optimalen Hindernishöhen für die betrachtete Bebauungsstruktur betragen 3–4 m im ländlichen und halbstädtischen Gebiet und ≥ 5 m im städtischen Bereich.
- > Die Effektivität nimmt mit zunehmender Bebauungsdichte bei gleichen Hindernishöhen ab. Mit identischen Hindernissen ist die Effektivität in ländlichen Strukturen besser als in städtischen Gebieten.
- > Nach der herkömmlichen Methode erfüllen die Massnahmen im städtischen Gebiet die Beurteilung «Realisierung empfohlen», für halbstädtische und ländliche Sanierungen resultiert «Realisierung näher untersuchen». Die Betrachtung über den WTI erlaubt eine präzisere Aussage. Für halbstädtische und städtische Gebiete ergibt sich die Einstufung gut, in eher ländlichen Bebauungsstrukturen werden die Sanierungen als knapp ungenügend beurteilt (WTI <1). Aufgrund der knappen Beurteilung ist es möglich, dass in Fällen mit vielen kritischen Liegenschaften eine entsprechende Sanierung einen WTI ≥ 1 erreicht und somit als genügend beurteilt wird.
- > Die Referenzprojekte Brunegg, Birrhard und Othmarsingen werden als «gut», die Sanierungen Lenzburg und Erstfeld als «genügend» beurteilt.
- > Die Beurteilung gemäss dem Kriterium Kosten pro Haus ergibt Abweichungen im Bereich der grossen Hindernishöhen in städtischen und halbstädtischen Gebieten. Hier dürften die Kosten pro Haus mit Fr. 250'000.– zu tief angesetzt sein. Bezüglich den Kosten pro dBA und Einwohner ergibt sich eine übereinstimmende Beurteilung über den WTI. Die Beurteilung über die Kosten pro Wohnung im halbstädtischen Gebiet ist problematisch.

4.5 Lärmschutzwände und Belag, Wirkung –5 dBA, Liegedauer 12.5 Jahre

Beilage 16

- > Die Aussagen bezüglich der Effizienz, der Effektivität sowie der Vergleich der Beurteilung nach dem herkömmlichen Modell und dem WTI stimmen mit den Kommentaren im Abschnitt 4.4 (LSW + Belag –3dBA) überein.

- > Das Referenzprojekt Erstfeld Nord – Amsteg (Reussbrücke Grund) wird über den WTI als «genügend» bis «gut» beurteilt.
- > Die Beurteilung gemäss dem Kriterium Kosten pro Haus ergibt grosse Abweichungen. Auch hier zeigt sich, dass die Kosten pro Haus mit Fr. 250'000.– zu tief angesetzt sein dürften. Bezüglich den Kosten pro dBA und Einwohner ergibt sich eine übereinstimmende Beurteilung über den WTI. Die Beurteilung über die Kosten pro Wohnung im halbstädtischen Gebiet ist problematisch.

4.6 Lärmschutzwände und Belag, Wirkung –5 dBA, Liegedauer 25 Jahre

Beilage 17

- > Die Aussagen bezüglich der Effizienz, der Effektivität sowie der Vergleich der Beurteilung nach dem herkömmlichen Modell und dem WTI stimmen im Wesentlichen mit den Kommentaren in den Abschnitten 4.4 und 4.5 (Lärmschutzwände + Belag) überein.
- > Ergänzend kann festgestellt werden, dass mit zunehmender akustischer Belagswirkung die Effektivität zunimmt und sich damit der WTI erhöht. Bei gleicher Belagswirkung und doppelter Liegedauer nimmt bei konstant bleibender Effektivität die Effizienz zu und der WTI steigt.
- > Die Referenzprojekte werden alle als «genügend» bis «sehr gut» beurteilt.
- > Die Beurteilung gemäss dem Kriterium Kosten pro Haus zeigt erhebliche Abweichungen (Kosten pro Haus mit Fr. 250'000.– zu tief). Bezüglich den Kosten pro dBA und Einwohner ergibt sich eine übereinstimmende Beurteilung über den WTI. Die Beurteilung über die Kosten pro Wohnung im halbstädtischen Gebiet ist problematisch.

4.7 Überdeckungen

Beilage 18

- > Die Effizienz nimmt mit zunehmender Bebauungsdichte resp. mit der Anzahl der geschützten Betroffenen zu.
- > Die Effektivität langer Überdeckungen ist besser als jene von Bauwerken die nicht alle Betroffenen schützen.
- > Nach der herkömmlichen Methode liegen kurze Überdeckungen im Bereich «Realisierung nicht empfohlen», jene welche mindestens ca. 50% der kritischen Häuser schützen sind «näher zu untersuchen». Die Betrachtung über den WTI ergibt, für die untersuchten Bebauungsstrukturen und Grenzwertüberschreitungen, für alle Varianten die Beurteilung «schlecht» (WTI <0.5).
- > Überdeckungen weisen generell bei einer eher hohen Effektivität (Zielerreichung) eine tiefe Effizienz auf (Kosten).
- > Die Referenzprojekte Chamblieux und Zofingen werden als «genügend», die Überdeckungen Frick und Erstfeld als «schlecht» beurteilt.
- > Die Grenzkostenbetrachtungen gem. Kap. 3.8 ergeben für alle Varianten die Beurteilung «ungenügend».

- > Gerade bei Überdeckungen ist die Gewichtung weiterer Aspekte wie Landschafts- und Ortsbildschutz, allgemeine Verlärmung urbaner Gebiete, Trennwirkung durch Verkehrsträger, Landgewinn für Überbauungen adäquat mit zu berücksichtigen. Entsprechende Mehrwerte müssen monetarisiert und den Kosten gutgeschrieben werden.

4.8

Überdeckungen in Kombination mit Belägen

Beilagen 19–21

- > Die Überdeckungen schützen bei diesen Varianten nur einen Teil der kritischen Liegenschaften. Anschliessend an die Portalbereiche werden deshalb lärmarme Beläge angenommen. Gleiche Massnahmenwirkungen von 3–5 dBA können im Mittel auch etwa mit ergänzenden Lärmschutzwänden erreicht werden. Die nachfolgenden Feststellungen gelten somit auch für Ergänzungen der Überdeckungen mit Schallhindernissen.
- > Die Effizienz nimmt mit zunehmender Bebauungsdichte resp. mit der Anzahl der geschützten Betroffenen zu. Weil die Kosten der Überdeckung stark dominieren, verändert sich die Effizienz durch die Wirkung und die Kosten der ergänzenden Massnahmen (Wände, Beläge) kaum.
- > Die Effektivität langer Überdeckungen ist besser als jene von Bauwerken, die nicht alle Betroffenen zu schützen vermögen. Mit den ergänzenden Massnahmen kann aber die Effektivität kürzerer Überdeckungen deutlich verbessert werden.
- > Nach der herkömmlichen Methode liegen alle Varianten im Bereich «Realisierung näher untersuchen». Die Betrachtung über den WTI ergibt für die untersuchten Bauungsstrukturen und Grenzwertüberschreitungen eine differenziertere Beurteilung. So dürften Projekte mit einer optimalen Länge und ergänzenden Massnahmen einen WTI >1 erreichen, wenn viele Leute von erheblichen Grenzwertüberschreitungen betroffen sind.
- > Vergleichbare Referenzprojekte standen für die Untersuchungen nicht zur Verfügung.
- > Die Grenzkostenbetrachtungen nach Kapitel 3.8 ergeben für alle Varianten die Beurteilung «ungenügend».

5 > Schlussfolgerungen / Sensitivität

5.1 Schlussfolgerungen

Aus den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- > Die Beurteilung von Projekten über den WT-Index (WTI) stimmt in den eindeutigen Bereichen «Realisierung empfohlen» resp. «Realisierung nicht empfohlen» gut mit dem herkömmlichen Modell nach SRU Nr. 301 überein.
- > Für den Bereich «Realisierung näher untersuchen» steht mit dem WTI ein Instrument zur Verfügung, welches eine eindeutigere Beurteilung ermöglicht und Variantenvergleiche erleichtert.
- > Die Untersuchungsergebnisse haben damit die Arbeitshypothese bezüglich des neu vorgeschlagenen WTI sowie den 5 Beurteilungsklassen bestätigt.

Bezüglich den einzelnen Massnahmengruppen (Hindernisse, Beläge, Überdeckungen, Kombinationen) ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- > Bei Lärmschutzwänden kann durch grössere Wandhöhen die Effektivität ohne grossen Einfluss auf die Effizienz gesteigert werden, weil sich die Einflüsse von Mehrnutzen und Mehrkosten in etwa aufheben. Der WTI nimmt mit der Wandhöhe zu und bildet die Optimierung – auch unter Berücksichtigung der Bebauungsstruktur – ab. Die maximalen Hindernishöhen werden jedoch erfahrungsgemäss meist nicht durch den Lärmschutz sondern durch die Kriterien des Landschafts- und Ortsbildschutzes, der technischen Machbarkeit oder anderen Interessen bestimmt.
- > Der WTI für Belagssanierungen erhöht sich mit zunehmender akustischer Wirksamkeit sowie mit der Liegedauer der Beläge. Auch diese Tatsache bestätigt, dass sich eine Beurteilung über den WTI bewährt.
- > Bei Überdeckungen als alleinige Massnahme zum Schutz ganzer Siedlungsgebiete ergibt sich über den WTI immer eine relativ schlechte Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit. Erst eine längenoptimierte Überdeckung mit anschliessenden ergänzenden Massnahmen (Schallhindernisse, Beläge) schafft die Voraussetzung für eine bezüglich der WTV positiven Beurteilung.
- > Die Beurteilung der vorhandenen Referenzobjekte stimmt gut mit dem neu definierten Beurteilungsansatz überein.
- > Für einfachere Projekte und für Massnahmen zum Schutz von Einzelleigenschaften und kleinen Gebäudegruppen eignet sich zur Beurteilung der WTV auch eine Maximalkostenbetrachtung über die Kriterien:
 - Fr. 5'000.– pro dBA Massnahmenwirkung und Einwohner (Fr./dBA * Einwohner) sowie
 - Maximalkosten pro Liegenschaft (Fr./Liegenschaft).

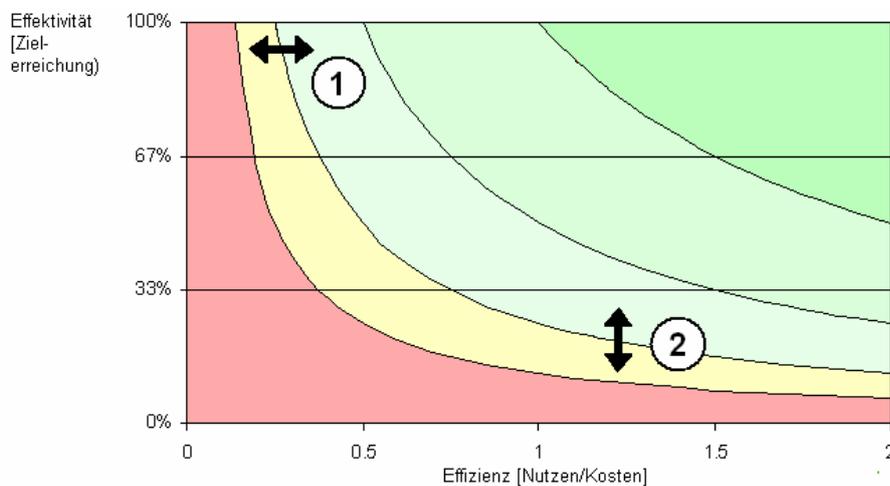
Der zweite Wert ist abhängig von der Grösse des Objektes sowie von dessen Zustand, Nutzung und Lage. Die definitive Angabe eines Wertes ist zur Zeit noch nicht möglich. Für ländliche und halbstädtische Verhältnisse erscheint eine Grössenordnung von ca. Fr. 250'000.– vernünftig, für städtische Verhältnisse und grössere Mehrfamilienhäuser ist dieser Betrag zu tief.

Kaum brauchbare Beurteilungen ergeben sich über die Kostenbetrachtung pro Wohnung.

5.2 Sensitivität

- > Den Untersuchungen wurden tendenziell eher hohe Kosten zugrunde gelegt. Das bedeutet, dass die Effizienz bei gleich bleibender Effektivität in der Regel etwas höher sein dürfte und die Beurteilungen eher etwas günstiger ausfallen werden.
- > Aufgrund des Verlaufes der Beurteilungskurven führen kleine Veränderungen der Kosten bei hoher Effektivität 1 sowie kleine Veränderungen des Nutzens bei hoher Effizienz 2 rasch zu Klassenverschiebungen. Dies ist insbesondere bei Sanierungen mit einem WTI um 1.0 zu beachten.

Abb. 5 > Sensitivität in Grenzbereichen.



- > Die Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von WTV-Beurteilungen hängt relativ stark von den getroffenen Kostenannahmen, der Ermittlung der Grundlagedaten (Iso-phonen, Flächenberechnungen, Zuordnung zu Belastungsklassen, BGF-Berechnung, etc.) und von einer sachgerechten Handhabung der Berechnungsprogramme ab.

6 > Berechnungsmodul

Auf der Basis der vorliegenden Vollzugshilfe wurde ein Berechnungstool (Tabellenkalkulation) entwickelt, welches unter dem Link:

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

zum Download zur Verfügung steht. Unter demselben Link finden sich das Benutzerhandbuch und ein Berechnungsbeispiel. Es wird empfohlen mit Hilfe des Beispiels (Beilage 3 des Handbuches) den Umgang mit dem Berechnungsmodul zu üben. Dabei ist nach den Anweisungen im Kapitel 2 des Benutzerhandbuches vorzugehen.

Das Berechnungsmodul basiert weitgehend auf den Algorithmen der Schriftenreihe Umwelt Nr. 301. Für die Dateneingabe wurden Präzisierungen vorgenommen und Standardwerte definiert. Die Beurteilung wurde nach der vorliegenden Vollzugshilfe optimiert.

> Beilagen

Zusammenfassung der WTV-Untersuchungen

vorhandener Projekte

1 A1	Birrhard	30
2 A1	Brunegg	31
3 A2	Capolago	32
4 A12	Chamblioux	33
5 A2	Erstfeld	34
6 A2	Erstfeld – Amsteg	35
7 A3	Frick	37
8 A1	Lenzburg	39
9 A1	Othmarsingen	40
10 A1	Seedorf – Amsteg	41
11 A2	Zofingen	42

Modellrechnungen

12	Bebauungsstrukturen	43
13	Lärmschutzwände	44
14	Beläge	46
15	Lärmschutzwände und Belag -3 dBA ¹ (Liegedauer 25 Jahre)	48
16	Lärmschutzwände und Belag -5 dBA ¹ (Liegedauer 12.5 Jahre)	50
17	Lärmschutzwände und Belag -5 dBA ¹ (Liegedauer 25 Jahre)	52
18	Überdeckungen	54
19	Überdeckungen und Belag -3 dBA ¹ (Liegedauer 25 Jahre)	56
20	Überdeckungen und Belag -5 dBA ¹ (Liegedauer 12.5 Jahre)	58
21	Überdeckungen und Belag -5 dBA ¹ (Liegedauer 25 Jahre)	60

¹ Bei lärmindernden Strassenbelägen wurde unterschieden zwischen einem Sanierungsbelag mit einer Wirkung von -3 dBA gegenüber dem Ursprungsbelag und einer Liegedauer von 25 Jahren (Beispiel: Ersatz eines alten Betonbelages mit KB = +5 dBA durch einen AC 11-Belag mit KB = +2 dBA), einem Sanierungsbelag mit einer Wirkung von -5 dBA und einer Liegedauer von 12.5 Jahren (Beispiel: Ersatz eines AC 11-Belages mit KB = +2 dBA durch einen PA 8/11-Belag mit KB = -3 dBA) sowie einem Sanierungsbelag mit einer Wirkung von -5 dBA und einer Liegedauer von 25 Jahren. Die Wirkung in der WTV-Berechnung von 3 resp. 5 dBA entspricht der Pegeldifferenz zwischen dem Sanierungsbelag und dem zu sanierenden Ursprungsbelag und ist nicht zu verwechseln mit der Emissionskorrektur des Belages gegenüber dem Modell StL-86+.

1 Beläge und LSW Autobahn A1, Kt. Aargau

C / III

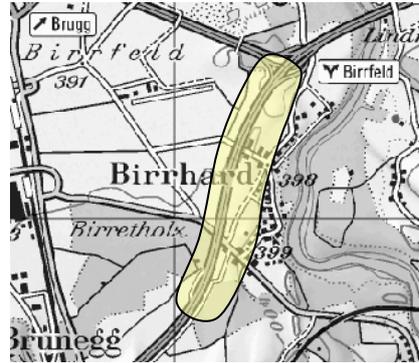
Untersuchte Strecke:

- Autobahn A1, km 265.0 – 267.8

Gemeinde:

- **Birrhard**

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch					
C ländlich			X		

Kosten:

Massnahmenvarianten

- SMA und Lärmschutzwände
- DRA und Lärmschutzwände

Kosten total:	Bezugszeitraum:
3'464'000.--	25 Jahre
3'980'000.--	25 Jahre

Kostenannahmen

SMA-Belag:	30.--/m ²		
DRA-Belag:	30.--/m ²	zusätzlicher Unterhalt DRA:	38'160.--/Jahr
Lärmschutzwände:	800.--/m ²		

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)

Maximal möglicher Jahresnutzen: 316'195.--

kapitalisiert zu 5%: 6'323'900.--

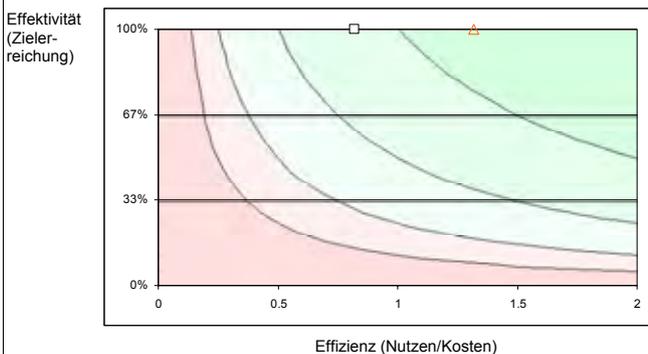
Interessenabwägung (Schritt B)

Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
<input type="checkbox"/> SMA und LSW	aktuell	251'457	205'361	0.82	100	3.3
<input checked="" type="checkbox"/> DRA und LSW	aktuell	188'520	249'757	1.32	100	5.3

Beurteilung:

- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht
- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz



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

2 Beläge und LSW Autobahn A1, Kt. Aargau

C / III

Untersuchte Strecke:

- Autobahn A1, km 263.0 – 265.0

Gemeinde:

- Brunegg

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch					
C ländlich			X		

Kosten:

Massnahmenvarianten

- SMA und Lärmschutzwände
- DRA und Lärmschutzwände

Kosten total:	Bezugszeitraum:
2'122'000.--	25 Jahre
2'377'000.--	25 Jahre

Kostenannahmen

SMA-Belag:	30.--/m ²		
DRA-Belag:	30.--/m ²	zusätzlicher Unterhalt DRA:	22'380.--/Jahr
Lärmschutzwände:	800.--/m ²		

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)

Maximal möglicher Jahresnutzen: 208'823.--

kapitalisiert zu 5%: 4'176'460.--

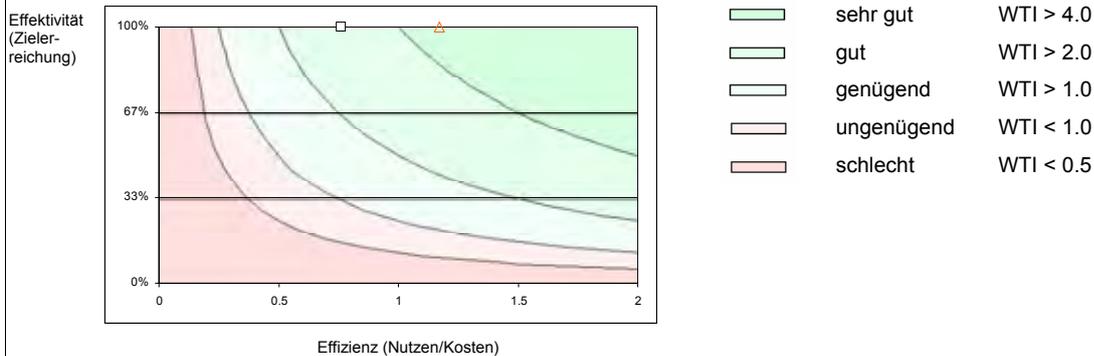
Interessenabwägung (Schritt B)

Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
<input type="checkbox"/> SMA und LSW	aktuell	154'094	117'863	0.76	100	3.0
<input checked="" type="checkbox"/> DRA und LSW	aktuell	113'708	133'504	1.17	100	4.7

Beurteilung:

- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht
- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz



3 LSW Autobahn A2, Kt. Tessin

C / I

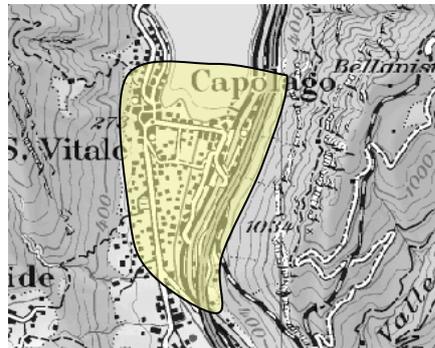
Untersuchte Strecke:

- Autobahn A2, km 9.90 – 12.33

Gemeinden:

- Capolago
- Riva San Vitale

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch					
C ländlich	X				

Kosten:

Massnahmenvarianten

- Lärmschutzwände und absorbierende Verkleidungen von Stützwänden

Kosten total: 19'100'000.--
Bezugszeitraum: 25 Jahre

Kostenannahmen

Glas-Lärmschutzwände: 1'260.--/m²
 Verkleidungen Stützwände: 350.--/m²
 Lärmschutzwände auf Brücke: 600.--/m²

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)

Maximal möglicher Jahresnutzen: 4'531'495.--

kapitalisiert zu 5%: 90'629'900.--

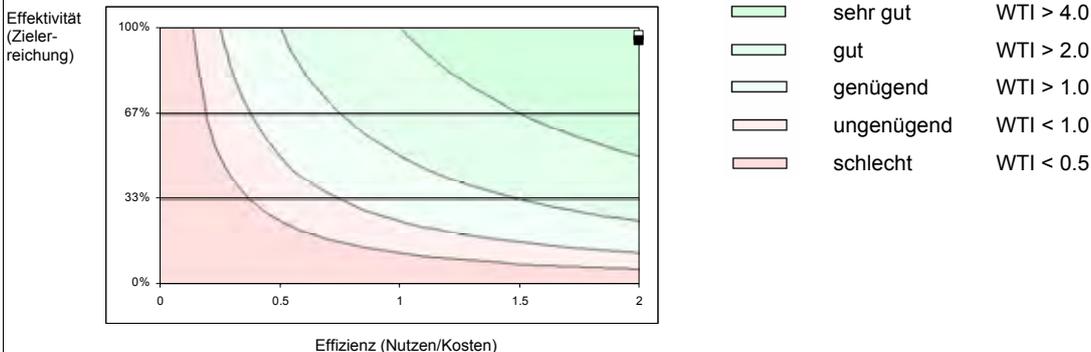
Interessenabwägung (Schritt B)

Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
<input type="checkbox"/> LSW und absorbierende Verkleidungen	aktuell	1'146'000	4'343'885	3.79	97	14.7
<input checked="" type="checkbox"/> LSW und absorbierende Verkleidungen	100%	1'146'000	4'390'754	3.83	95	14.6

Beurteilung:

- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht
- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz



4 Überdeckung und LSW Autobahn A12, Kt. Fribourg

B / I + IV

Untersuchte Strecke:
- Autobahn A12, km 50.9 – 52.5

Gemeinden:
- Fribourg (Chamblieux)
- Givisiez
- Granges-Paccot

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch	X			X	
C ländlich					

Kosten:

Massnahmenvarianten - Überdeckung und Lärmschutzwände	Kosten total: 31'633'000.--	Bezugszeitraum: 25 Jahre
---	------------------------------------	---------------------------------

Kostenannahmen
Überdeckung: 35'000.--/m'
Lärmschutzwände: 800.--/m²

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)
Maximal möglicher Jahresnutzen: 1'435'842.-- kapitalisiert zu 5%: 28'716'840.--

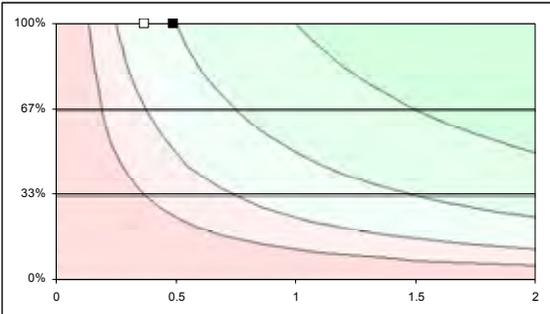
Interessenabwägung (Schritt B)

Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
<input type="checkbox"/> Überdeckung und	aktuell	1'897'982	705'183	0.37	100	1.5
<input checked="" type="checkbox"/> Lärmschutzwände	100%	1'897'982	927'495	0.49	100	2.0

Beurteilung:

<input type="checkbox"/> SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.
<input type="checkbox"/> neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> genügend <input type="checkbox"/> ungenügend <input type="checkbox"/> schlecht
<input checked="" type="checkbox"/> SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.
<input checked="" type="checkbox"/> neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> genügend <input type="checkbox"/> ungenügend <input type="checkbox"/> schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz



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

5 Überdeckung Autobahn A2, Kt. Uri

C / IV

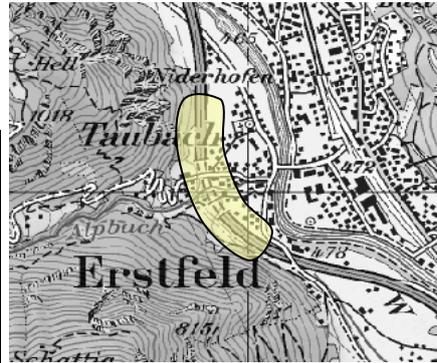
Untersuchte Strecke:

- Autobahn A2, km 150.45 – 151.24

Gemeinde:

- Erstfeld

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch					
C ländlich				X	

Kosten:

Massnahmenvarianten

- Überdeckung

Kosten total: 34'725'600.--
Bezugszeitraum: 25 Jahre

Kostenannahmen

Überdeckung: 65'000.--/m'

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)

Maximal möglicher Jahresnutzen: 42'161.--

kapitalisiert zu 5%: 843'216.--

Interessenabwägung (Schritt B)

Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
■ Überdeckung	aktuell	2'083'536	10'369	0.01	100	0.1

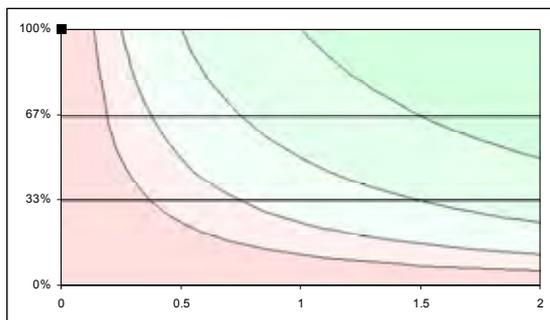
Beurteilung:

■ SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.

■ neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz

Effektivität (Zielerreichung)



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

Effizienz (Nutzen/Kosten)

6 Beläge und LSW Autobahn A2, Kt. Uri

C / III

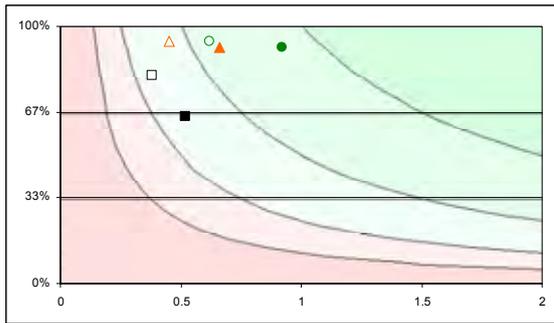
Untersuchte Strecke: - Autobahn A2, km 148.2 – 156.3		Untersuchungsgebiet: 				
Gemeinden: - Erstfeld - Gurnellen						
		Lärmschutzmassnahmen				
Bebauungstyp	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überde- ckung	V Überde- ckung + Belag	
A städtisch						
B halbstädtisch						
C ländlich			X			
Kosten: Massnahmenvarianten - SMA und Lärmschutzwände zur weitgehenden Einhaltung der IGW - DRA mit Liegezeit von 12.5 Jahren und Lärmschutzwände - DRA mit Liegezeit von 25 Jahren und Lärmschutzwände		Kosten total: 16'366'230.-- 17'628'980.-- 13'612'480.--	Bezugszeit- raum: 25 Jahre 25 Jahre 25 Jahre			
Kostenannahmen SMA-Belag: 30.--/m ² DRA-Belag: 36.--/m ² Lärmschutzwände: 1'200.--/m ²		Monitoring DRA 12.5 Jahre: Monitoring DRA 25 Jahre: zusätzlicher Unterhalt DRA:	144'000.-- 234'000.-- 75'000.--/Jahr			
Kennzahlen Wirtschaftlichkeit: Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A) Maximal möglicher Jahresnutzen: 829'667.-- kapitalisiert zu 5%: 16'593'340.--						
Interessenabwägung (Schritt B)						
Variante	Bebauungs- grad	Jahres- kosten	Jahres- nutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
□ SMA und LSW	aktuell	981'974	377'822	0.38	81	1.2
■	100%	981'974	510'803	0.52	65	1.4
△ DRA 12.5 u. LSW	aktuell	1'075'049	483'526	0.45	94	1.7
▲	100%	1'075'049	713'506	0.66	92	2.4
○ DRA 25 u. LSW	aktuell	776'909	483'526	0.62	94	2.3
●	100%	776'909	713'526	0.92	92	3.4

Beurteilung:

<input type="checkbox"/>	SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
<input type="checkbox"/>	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht
■	SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
■	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht
△	SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
△	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht
▲	SRU 301	<input checked="" type="checkbox"/> empfohlen	<input type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
▲	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht
○	SRU 301	<input checked="" type="checkbox"/> empfohlen	<input type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
○	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht
●	SRU 301	<input checked="" type="checkbox"/> empfohlen	<input type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
●	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz

Effektivität
(Zielerreichung)



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

7 LSW, Belag und Halbüberdeckung Autobahn A3, Kt. Aargau

C / I, II, IV

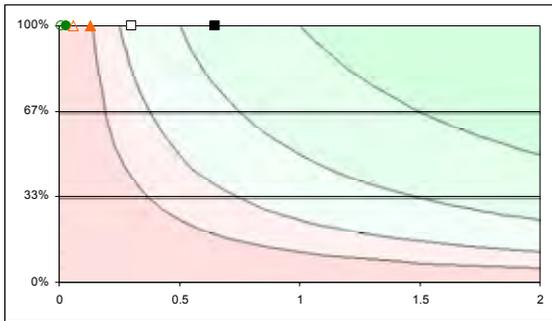
Untersuchte Strecke: - Autobahn A3, km 36.2 – 37.7		Untersuchungsgebiet: 				
Gemeinde: - Frick						
	Lärmschutzmassnahmen					
Bebauungstyp	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überde- ckung	V Überde- ckung + Belag	
A städtisch						
B halbstädtisch						
C ländlich	X	X		X		
Kosten: Massnahmenvarianten - Drainbelag - Halbüberdeckung - LSW – Erhöhung				Kosten	Bezugszeit-	
				total:	raum:	
				1'207'500.--	25 Jahre	
				24'000'000.--	25 Jahre	
				6'300'000.--	25 Jahre	
Kostenannahmen DRA-Belag: 35.--/m ² Halbüberdeckung: 36'900.--/m ¹ Lärmschutzwände: 1'500.--/m ²						
Kennzahlen Wirtschaftlichkeit: Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A) Maximal möglicher Jahresnutzen: 61'268.-- kapitalisiert zu 5%: 1'225'360.--						
Interessenabwägung (Schritt B)						
Variante	Bebauungs- grad	Jahres- kosten	Jahres- nutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
<input type="checkbox"/> Drainbelag	aktuell	87'665	26'048	0.30	100	1.2
<input checked="" type="checkbox"/> 100%	100%	87'665	57'329	0.65	100	2.6
<input checked="" type="radio"/> Halbüberdeckung	aktuell	1'742'400	26'002	0.01	100	0.1
<input checked="" type="radio"/> 100%	100%	1'742'400	56'392	0.03	100	0.1
<input checked="" type="triangle-up"/> LSW – Erhöhung	aktuell	457'380	27'136	0.06	100	0.2
<input checked="" type="triangle-up"/> 100%	100%	457'380	59'372	0.13	100	0.5

Beurteilung:

<input type="checkbox"/>	SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
<input type="checkbox"/>	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht
<input checked="" type="checkbox"/>	SRU 301	<input checked="" type="checkbox"/> empfohlen	<input type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
<input checked="" type="checkbox"/>	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht
<input checked="" type="checkbox"/>	SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
<input checked="" type="checkbox"/>	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input checked="" type="checkbox"/> schlecht
<input checked="" type="checkbox"/>	SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
<input checked="" type="checkbox"/>	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> genügend	<input checked="" type="checkbox"/> ungenügend	<input type="checkbox"/> schlecht
<input checked="" type="checkbox"/>	SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.		
<input checked="" type="checkbox"/>	neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> genügend	<input type="checkbox"/> ungenügend	<input checked="" type="checkbox"/> schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz

Effektivität
(Zielerreichung)



Effizienz (Nutzen/Kosten)

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

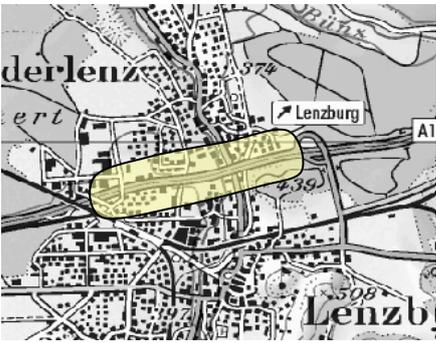
8 LSW, Beläge und Halbüberdeckung Autobahn A1, Kt. Aargau

B / III + IV

Untersuchte Strecke:
- Autobahn A1, km 258.0 – 260.3

Gemeinde:
- **Lenzburg**

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch			X	X	
C ländlich					

Kosten:

Massnahmenvarianten	Kosten total:	Bezugszeitraum:
- SMA, Lärmschutzwände und Galerie	32'092'000.--	25 Jahre
- DRA, Lärmschutzwände und Galerie	34'921'000.--	25 Jahre

Kostenannahmen			
SMA-Belag:	30.--/m ²	Galerie (Halbüberdeckung):	50'000.--/m'
DRA-Belag:	30.--/m ²	zusätzlicher Unterhalt DRA:	62'420.--/Jahr
Lärmschutzwände:	800.--/m ²		

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)
 Maximal möglicher Jahresnutzen: 1'854'445.-- kapitalisiert zu 5%: 37'088'900.--

Interessenabwägung (Schritt B)

Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
<input type="checkbox"/> SMA, LSW und Halbüberdeckung	aktuell	2'329'916	694'133	0.30	87	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> DRA, LSW und Halbüberdeckung	aktuell	2'371'027	775'786	0.33	96	1.3

Beurteilung:

<input type="checkbox"/> SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.
<input type="checkbox"/> neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> genügend <input type="checkbox"/> ungenügend <input type="checkbox"/> schlecht
<input checked="" type="checkbox"/> SRU 301	<input type="checkbox"/> empfohlen	<input checked="" type="checkbox"/> näher unters.	<input type="checkbox"/> nicht empf.
<input checked="" type="checkbox"/> neuer Ansatz	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> genügend <input type="checkbox"/> ungenügend <input type="checkbox"/> schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz

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

9 Beläge und LSW Autobahn A1, Kt. Aargau

C / III

Untersuchte Strecke:

- Autobahn A1, km 260.3 – 263.0

Gemeinde:

- Othmarsingen

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch					
C ländlich			X		

Kosten:

Massnahmenvarianten

- SMA und Lärmschutzwände
- DRA und Lärmschutzwände

Kosten total:	Bezugszeitraum:
1'632'000.--	25 Jahre
3'010'000.--	25 Jahre

Kostenannahmen

SMA-Belag:	30.--/m ²		
DRA-Belag:	30.--/m ²	zusätzlicher Unterhalt DRA:	33'000.--/Jahr
Lärmschutzwände:	800.--/m ²		

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)

Maximal möglicher Jahresnutzen: 263'033.--

kapitalisiert zu 5%: 5'260'660.--

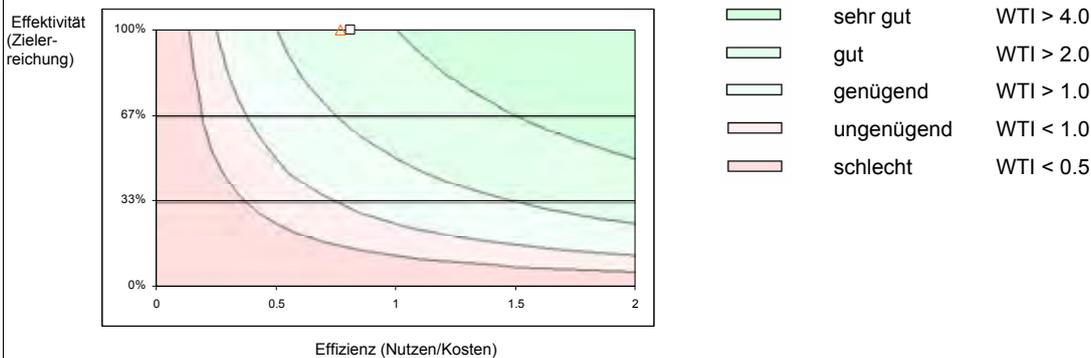
Interessenabwägung (Schritt B)

Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTl
<input type="checkbox"/> SMA und LSW	aktuell	118'520	95'496	0.81	100	3.2
<input checked="" type="checkbox"/> DRA und LSW	aktuell	131'715	101'015	0.77	100	3.1

Beurteilung:

- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht
- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz



10 Belag Autobahn A2, Kt. Uri

C / II

Untersuchte Strecke:

- Autobahn A2, km 142.8 – 157.6

Gemeinden:

- Seedorf
- Attinghausen
- Altdorf
- Erstfeld
- Silenen
- Gurnellen (Amsteg)

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch					
C ländlich		X			

Kosten:

Massnahmenvarianten

- Drainbelag

Kosten total: 13'068'000.--
Bezugszeitraum: 25 Jahre

Kostenannahmen

DRA-Belag: 30.--/m²
 Anpassung Entwässerung: 120.--/m'
 zusätzlicher Unterhalt DRA: 300'000.--/Jahr

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)

Maximal möglicher Jahresnutzen: 475'512.--

kapitalisiert zu 5%: 9'510'228.--

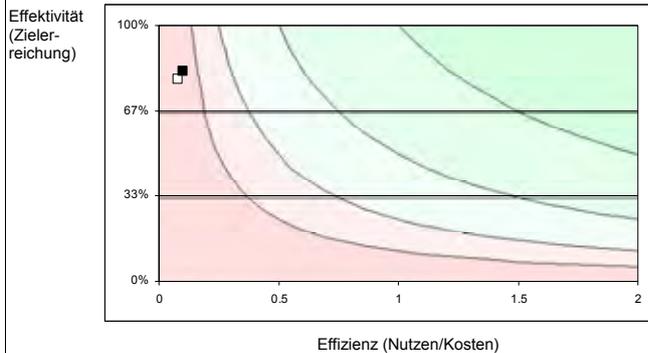
Interessenabwägung (Schritt B)

Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
<input type="checkbox"/> Drainbelag	aktuell	1'081'080	87'343	0.08	79	0.3
<input checked="" type="checkbox"/>	100%	1'081'080	105'615	0.10	82	0.3

Beurteilung:

- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht
- SRU 301 empfohlen näher unters. nicht empf.
- neuer Ansatz sehr gut gut genügend ungenügend schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz



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

11 Halbüberdeckung Autobahn A2, Kt. Aargau

B / IV

Untersuchte Strecke:

- Autobahn A2, km 52.04 – 52.65

Gemeinde:

- Zofingen

Untersuchungsgebiet:



Bebauungstyp	Lärmschutzmassnahmen				
	I LSW	II Belag	III LSW + Belag	IV Überdeckung	V Überdeckung + Belag
A städtisch					
B halbstädtisch				X	
C ländlich					

Kosten:

Massnahmenvarianten

- Halbüberdeckung

Kosten total: 25'800'000.--
Bezugszeitraum: 25 Jahre

Kostenannahmen

Halbüberdeckung: 50'600.--/m'

Kennzahlen Wirtschaftlichkeit:

Obergrenze der wirtschaftlichen Tragbarkeit (Schritt A)

Maximal möglicher Jahresnutzen: 416'904.--

kapitalisiert zu 5%: 8'338'080.--

Interessenabwägung (Schritt B)

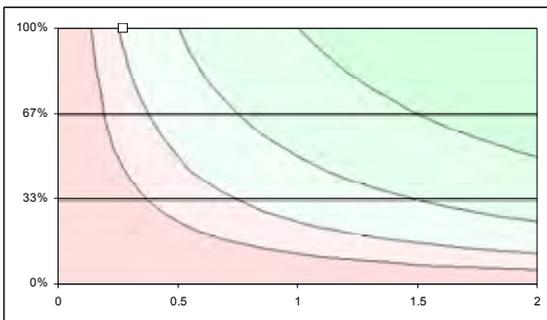
Variante	Bebauungsgrad	Jahreskosten	Jahresnutzen	Effizienz	Effektivität (%)	WT-Index WTI
<input type="checkbox"/> Halbüberdeckung	aktuell	1'548'000	412'707	0.27	100	1.1

Beurteilung:

- SRU 301
 empfohlen
 näher unters.
 nicht emp.
 neuer Ansatz
 sehr gut
 gut
 genügend
 ungenügend
 schlecht

Beurteilungsdiagramm neuer Ansatz

Effektivität (Zielerreichung)



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

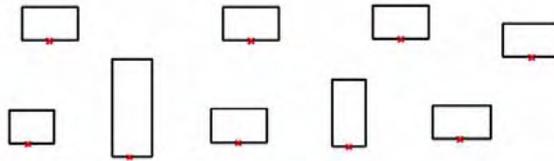
Effizienz (Nutzen/Kosten)

12 Bebauungsstrukturen für die Modellrechnungen

Bebauung mit städtischem Charakter

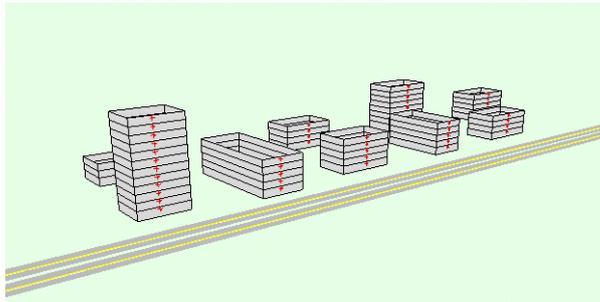
Struktur:

- 9 Gebäude mit 3 bis 12 Geschossen
- 170 Wohnungen
- 510 Einwohner (3 / Wohnung)



Überschreitungen IGW ES III:

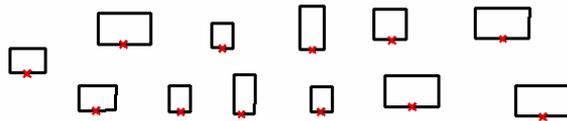
- bis 8 dBA



Bebauung mit eher halbstädtischem Charakter:

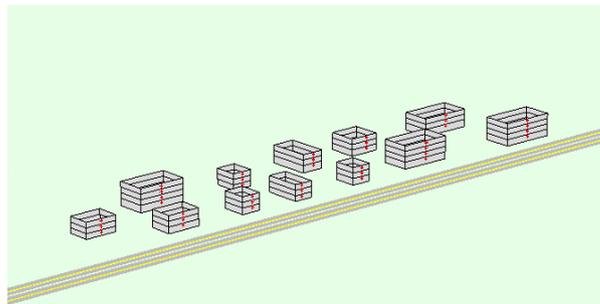
Struktur:

- 12 Gebäude mit 3 bis 4 Geschossen
- 58 Wohnungen
- 174 Einwohner (3 / Wohnung)



Überschreitungen IGW ES III:

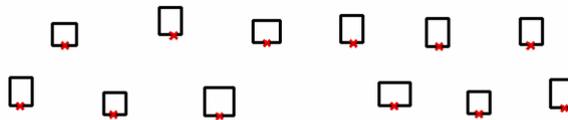
- bis 8 dBA



Bebauung mit eher ländlichem Charakter:

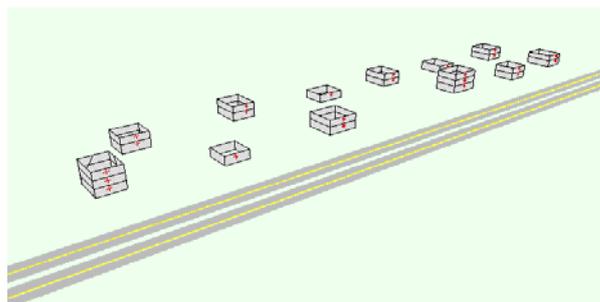
Struktur:

- 12 Gebäude mit 1 bis 3 Geschossen
- 14 Wohnungen
- 42 Einwohner (3 / Wohnung)



Überschreitungen IGW ES III:

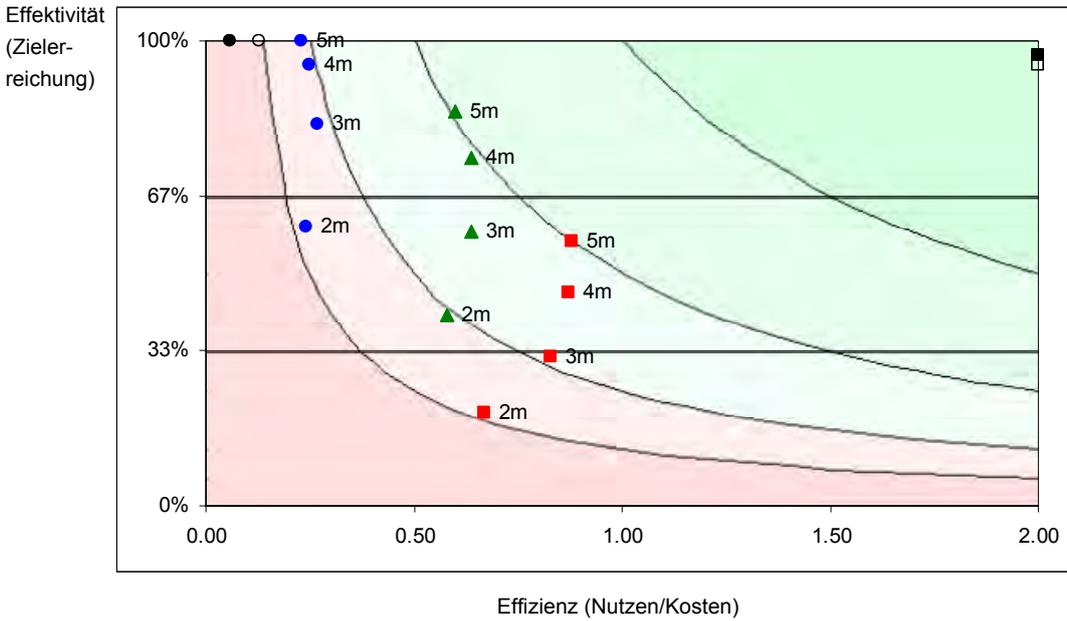
- bis 8 dBA



13 Modellrechnungen Lärmschutzwände

A,B,C / I

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:



Legende:

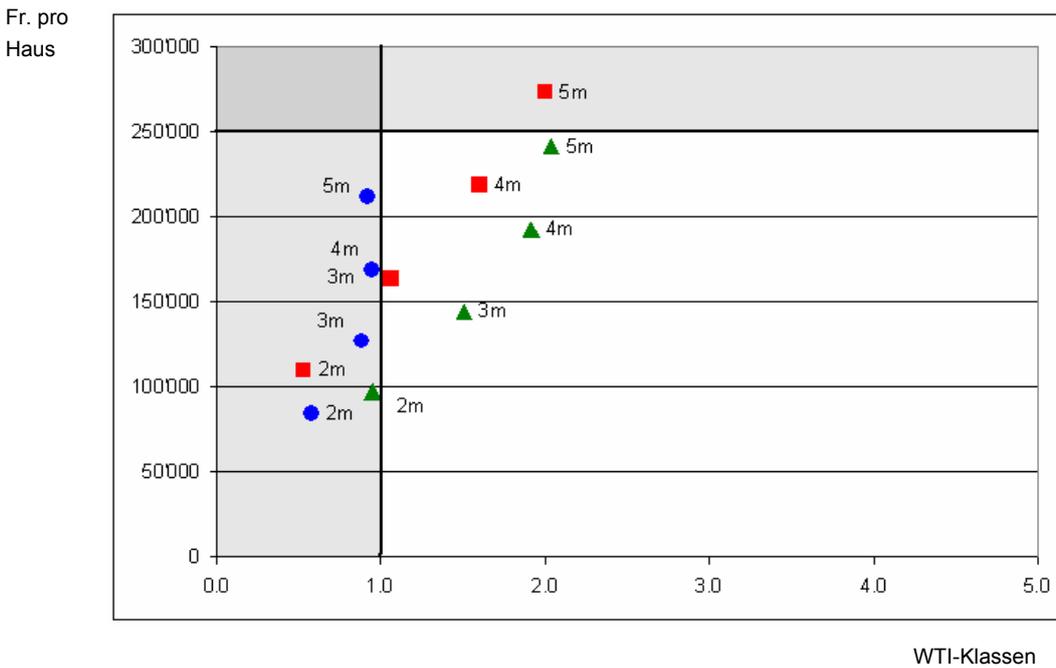
Modellrechnungen:

- städtisch, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m
- ▲ halbstädtisch, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m
- ländlich, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m

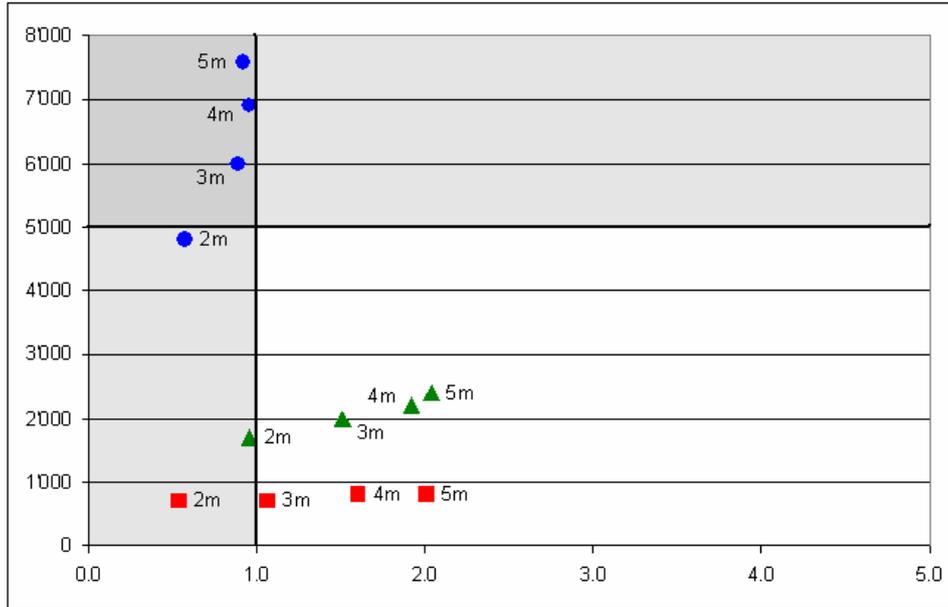
Untersuchte WT-Projekte:

- Capolago (aktueller Bebauungsgrad)
- Capolago (aktueller Bebauungsgrad)
- Frick (aktueller Bebauungsgrad)
- Frick (zukünftiger Bebauungsgrad)

Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:

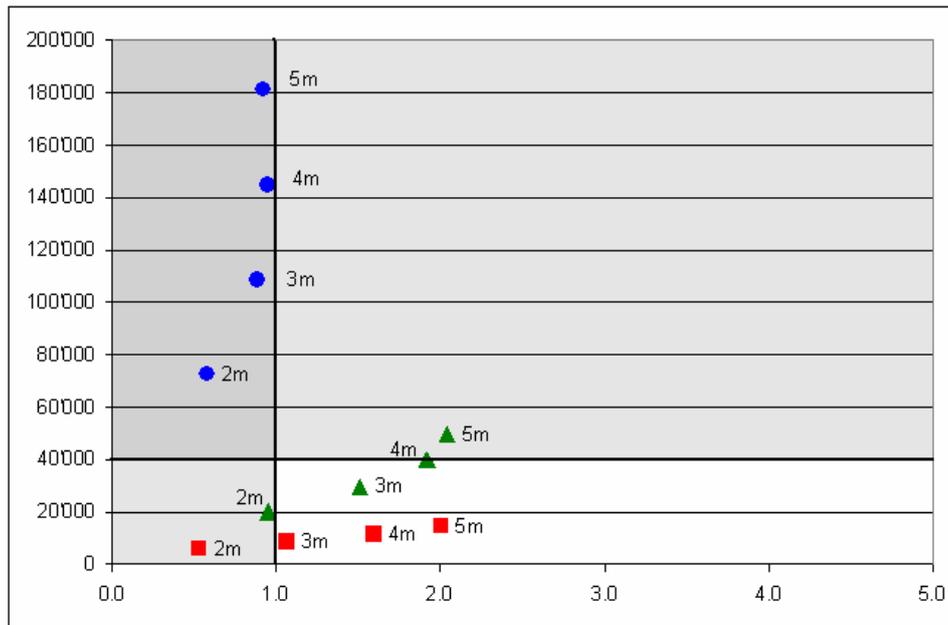


Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

Fr. pro
Wohnung

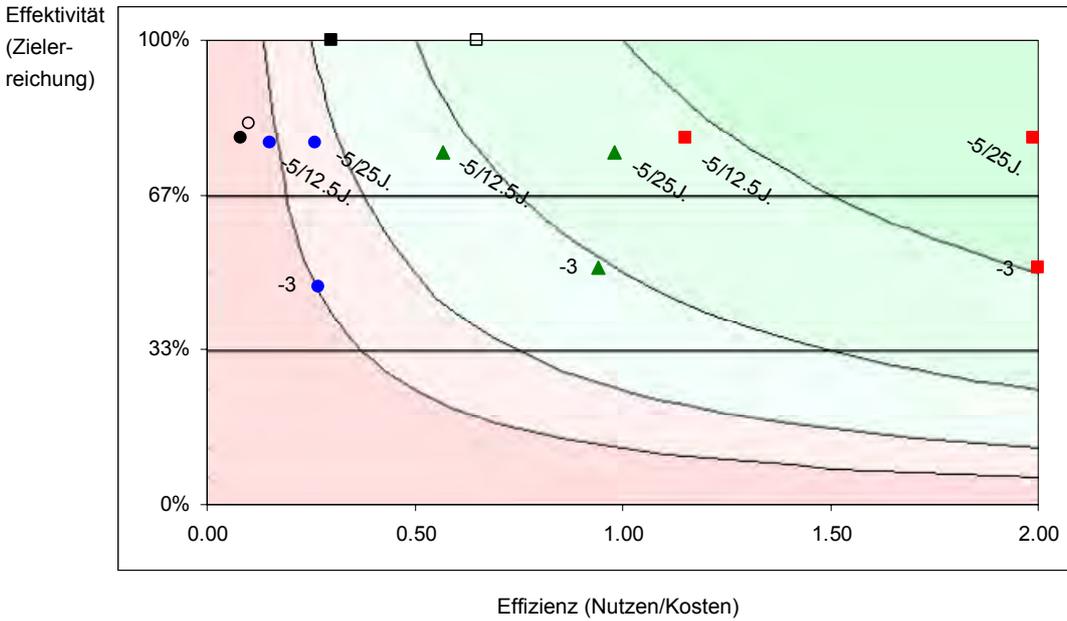


WTI-Klassen

14 Modellrechnungen Beläge

A,B,C / II

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:



Legende:

Modellrechnungen:

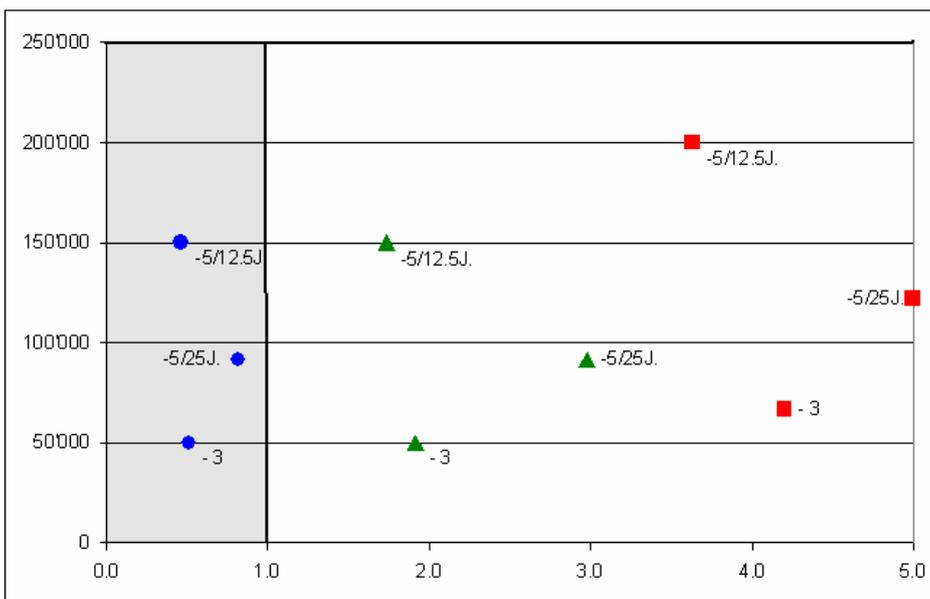
- städtisch, Beläge mit -3 (Liegedauer 25 Jahre) und -5 dBA (Liegedauer 12.5 und 25 Jahre) Wirkung
- ▲ halbstädtisch, Beläge mit -3 (Liegedauer 25 Jahre) und -5 dBA (Liegedauer 12.5 und 25 Jahre) Wirkung
- ländlich, Beläge mit -3 (Liegedauer 25 Jahre) und -5 dBA (Liegedauer 12.5 und 25 Jahre) Wirkung

Untersuchte WT-Projekte:

- Frick (DRA, Liegedauer 25 Jahre; aktueller Bebauungsgrad)
- Frick (DRA, Liegedauer 25 Jahre; aktueller Bebauungsgrad)
- Seedorf – Amsteg (DRA, Liegedauer 25 Jahre; aktueller Bebauungsgrad)
- Seedorf – Amsteg (DRA, Liegedauer 25 Jahre; zukünftiger Bebauungsgrad)

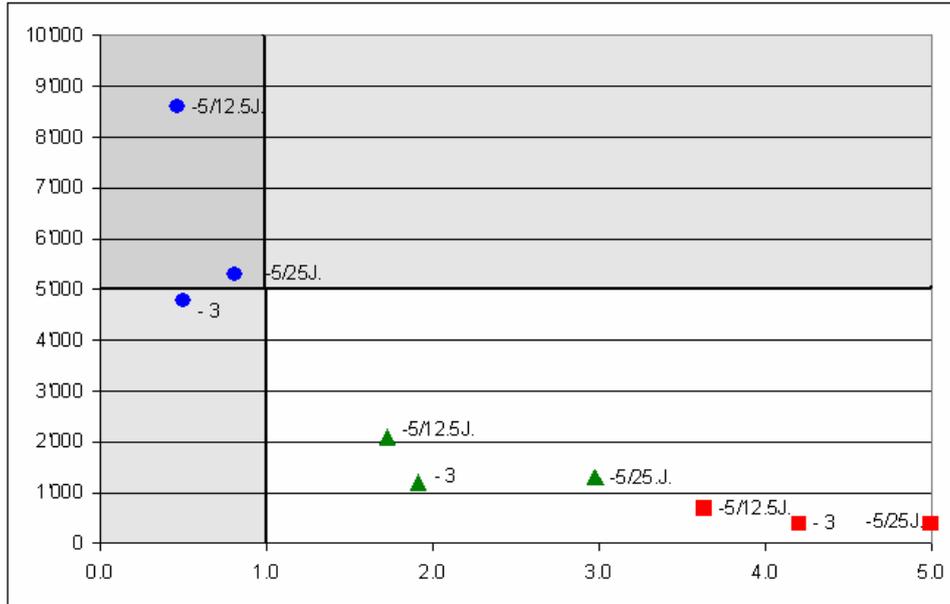
Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:

Fr. pro Haus



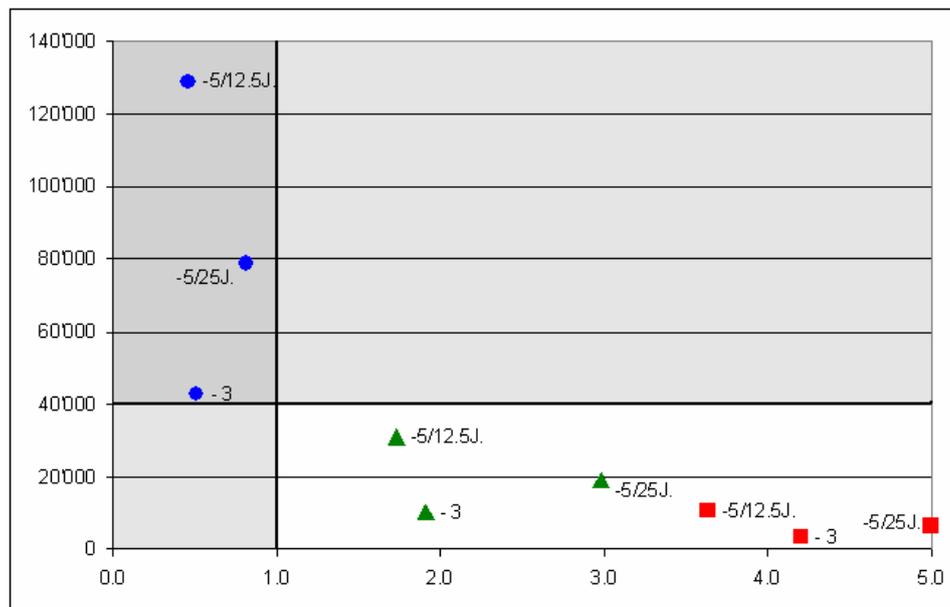
WTI-Klassen

Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

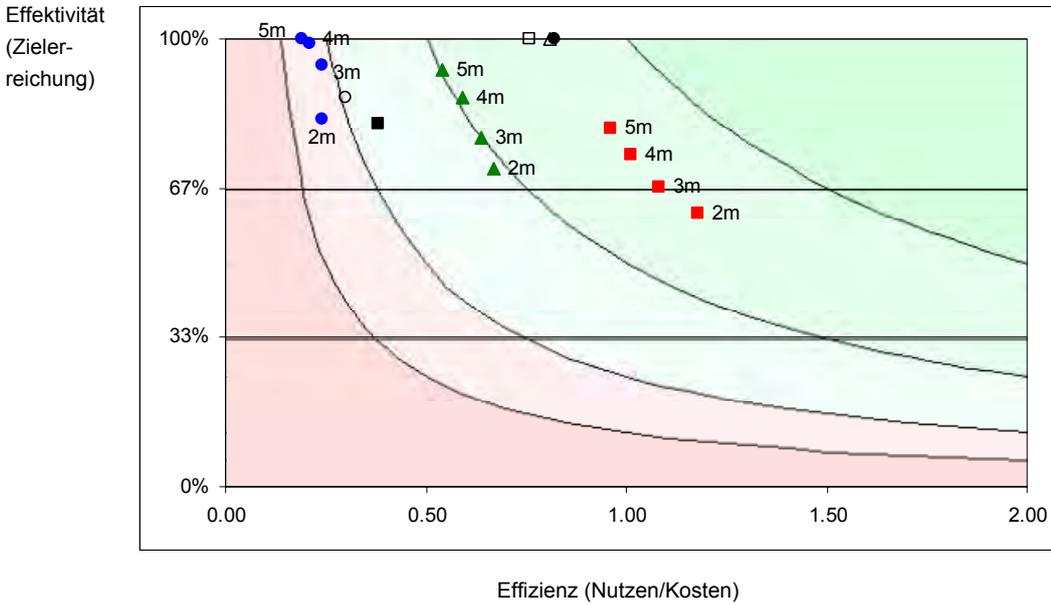
Fr. pro
Wohnung



WTI-Klassen

15 Modellrechnungen Lärmschutzwände und Belag (-3 dBA, Liegedauer 25 Jahre) A,B,C / III

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:



Legende:

Modellrechnungen:

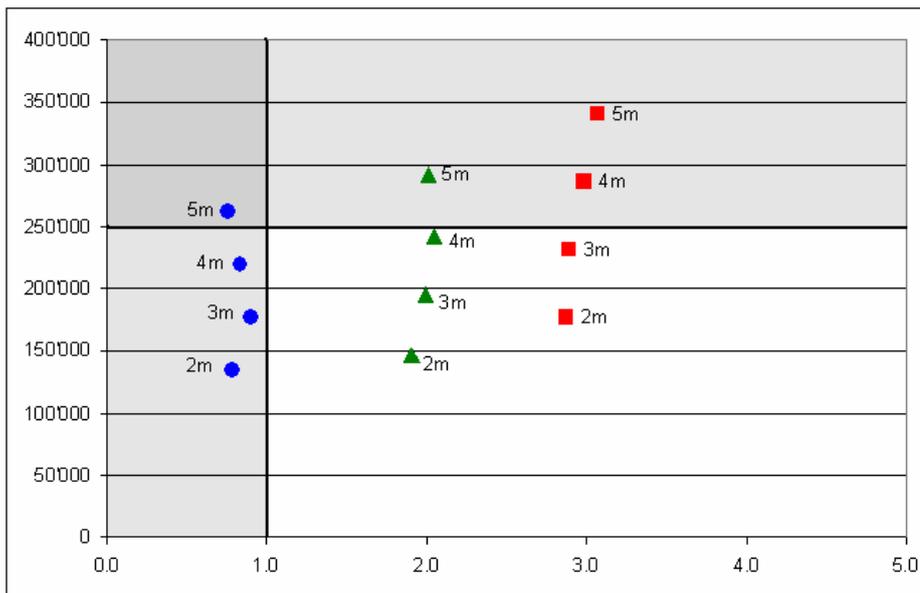
- städtisch, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -3 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)
- ▲ halbstädtisch, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -3 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)
- ländlich, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -3 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)

Untersuchte WT-Projekte:

- Birrhard (aktueller Bebauungsgrad)
- Brunegg (aktueller Bebauungsgrad)
- Erstfeld (aktueller Bebauungsgrad)
- Lenzburg (inkl. Galerie; aktueller Bebauungsgrad)
- △ Othmarsingen (zukünftiger Bebauungsgrad)

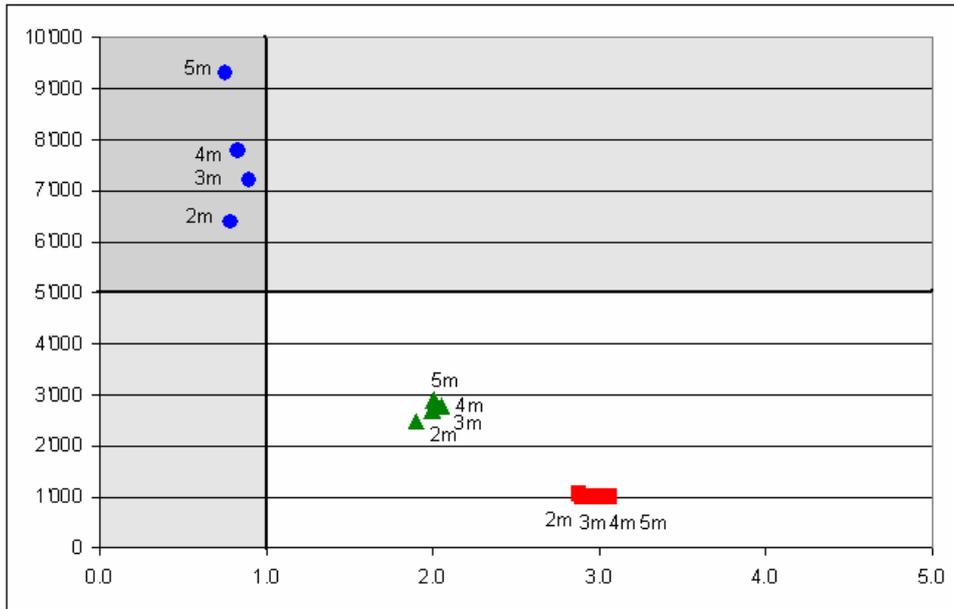
Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:

Fr. pro Haus



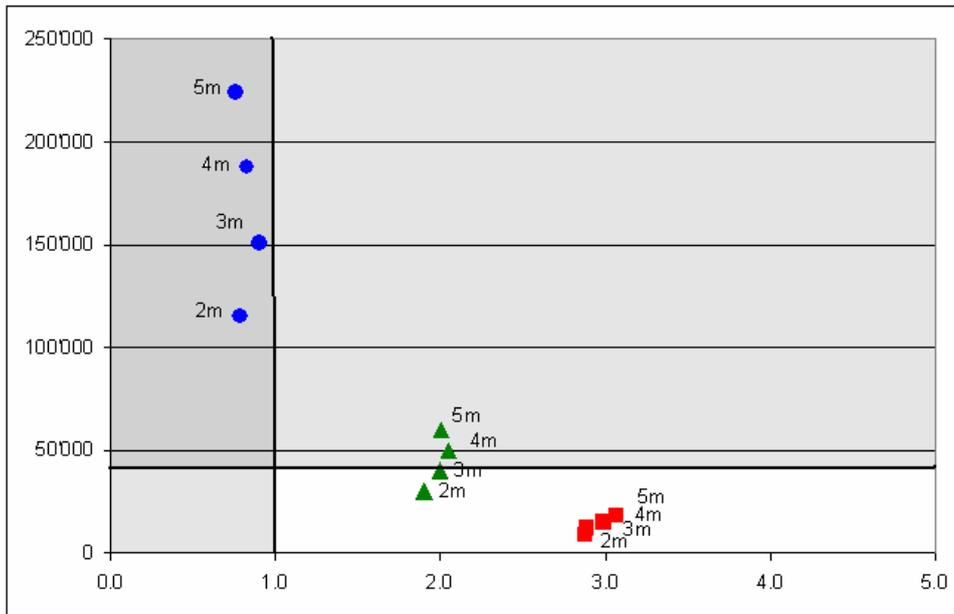
WTI-Klassen

Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

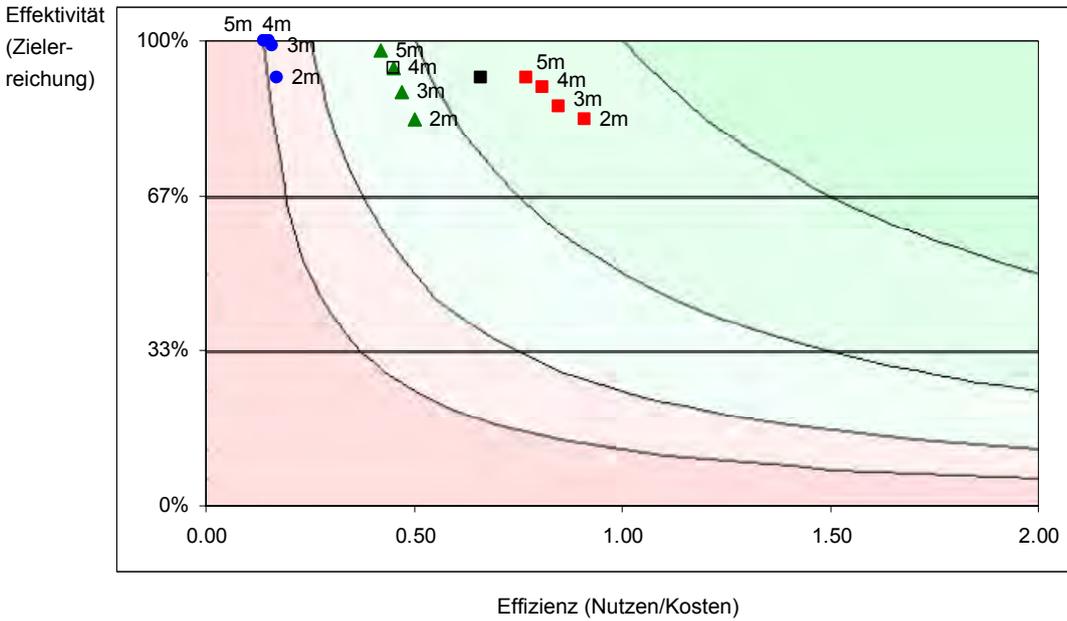
Fr. pro
Wohnung



WTI-Klassen

16 Modellrechnungen Lärmschutzwände und Belag (-5 dBA, Liegedauer 12.5 Jahre) A,B,C / III

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:



Legende:

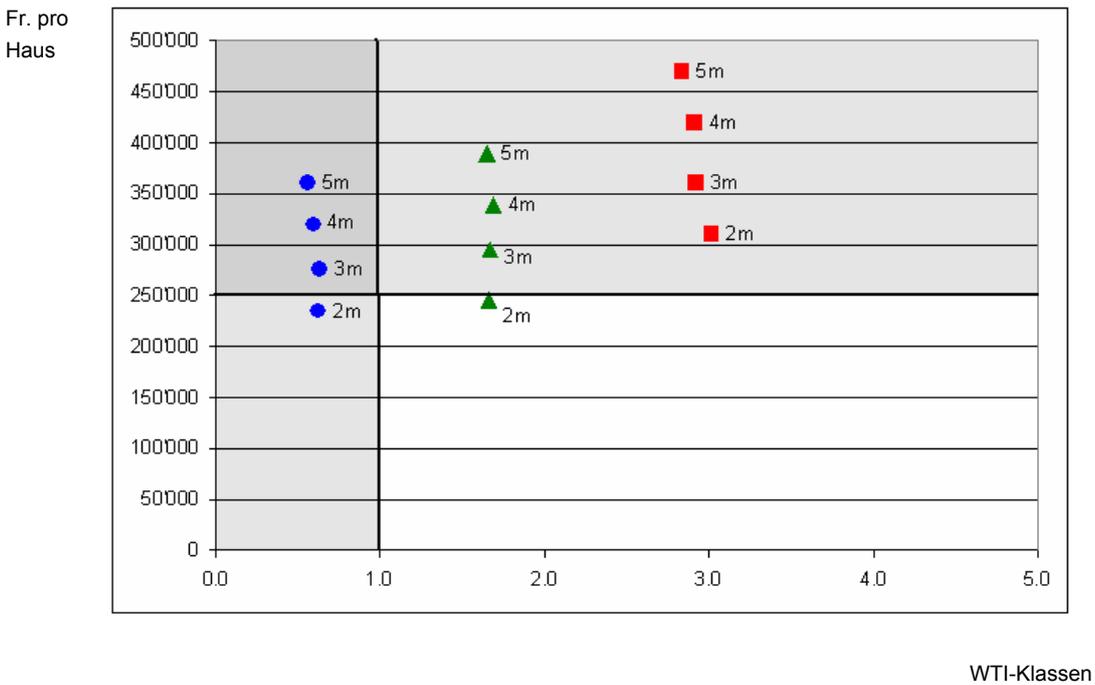
Modellrechnungen:

- städtisch, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 12.5 Jahre)
- ▲ halbstädtisch, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 12.5 Jahre)
- ländlich, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 12.5 Jahre)

Untersuchte WT-Projekte:

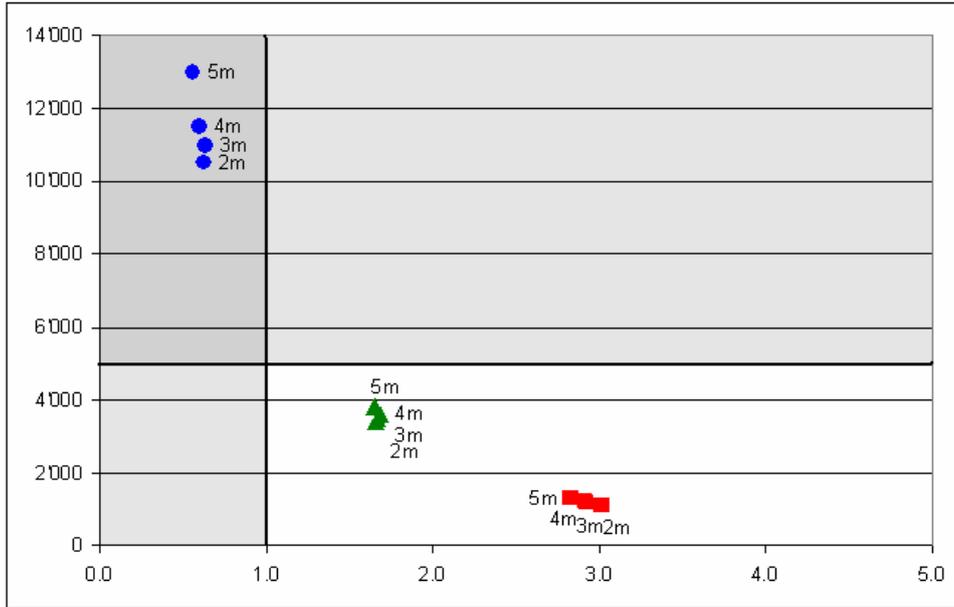
- Erstfeld – Amsteg (aktueller Bebauungsgrad)
- Erstfeld – Amsteg (zukünftiger Bebauungsgrad)

Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:



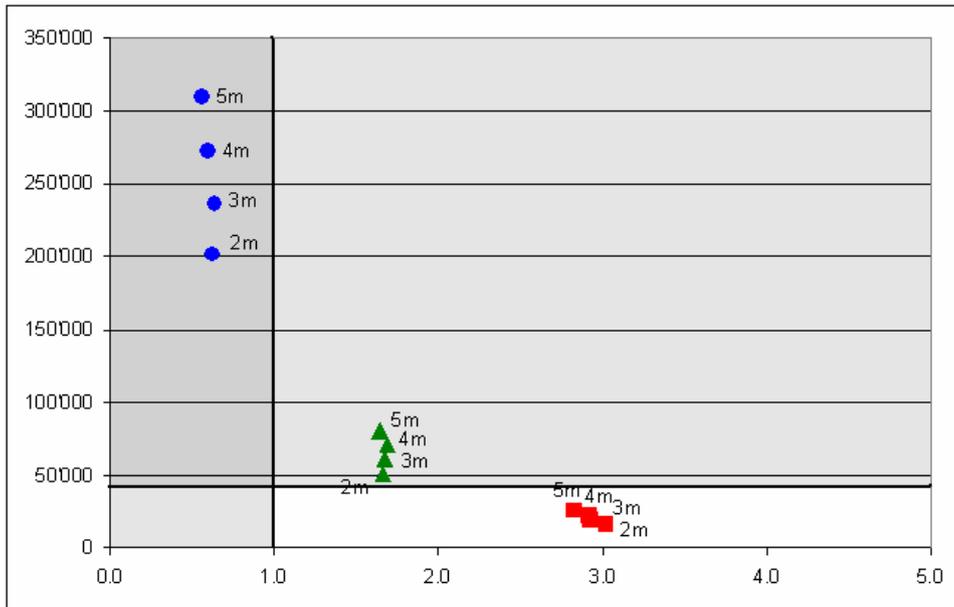
WTI-Klassen

Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

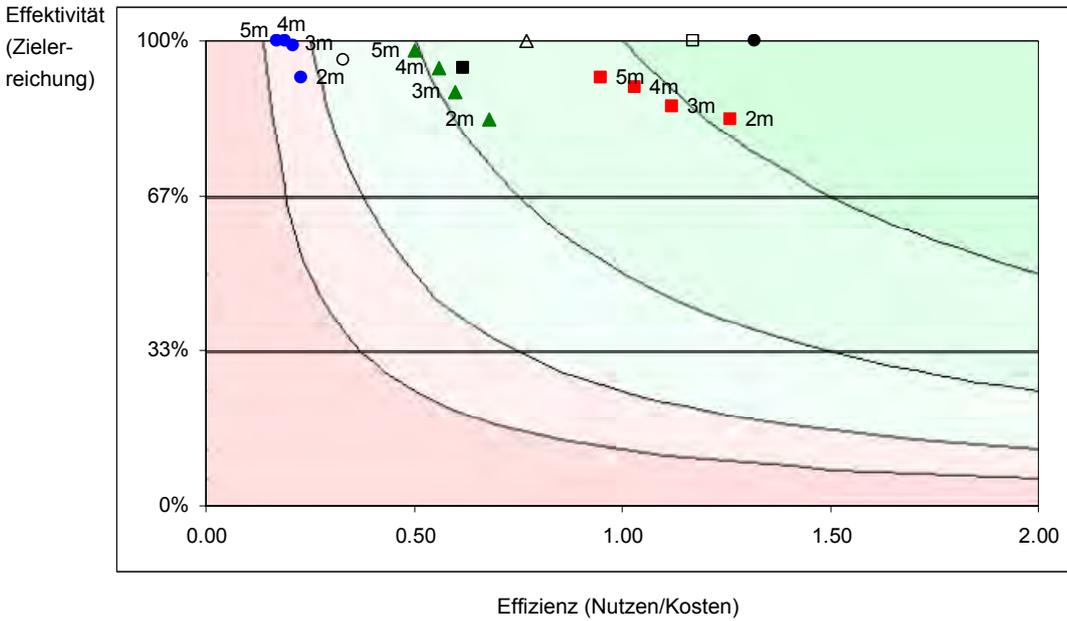
Fr. pro
Wohnung



WTI-Klassen

17 Modellrechnungen Lärmschutzwände und Belag (-5 dBA, Liegedauer 25 Jahre) A,B,C / III

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:



Legende:

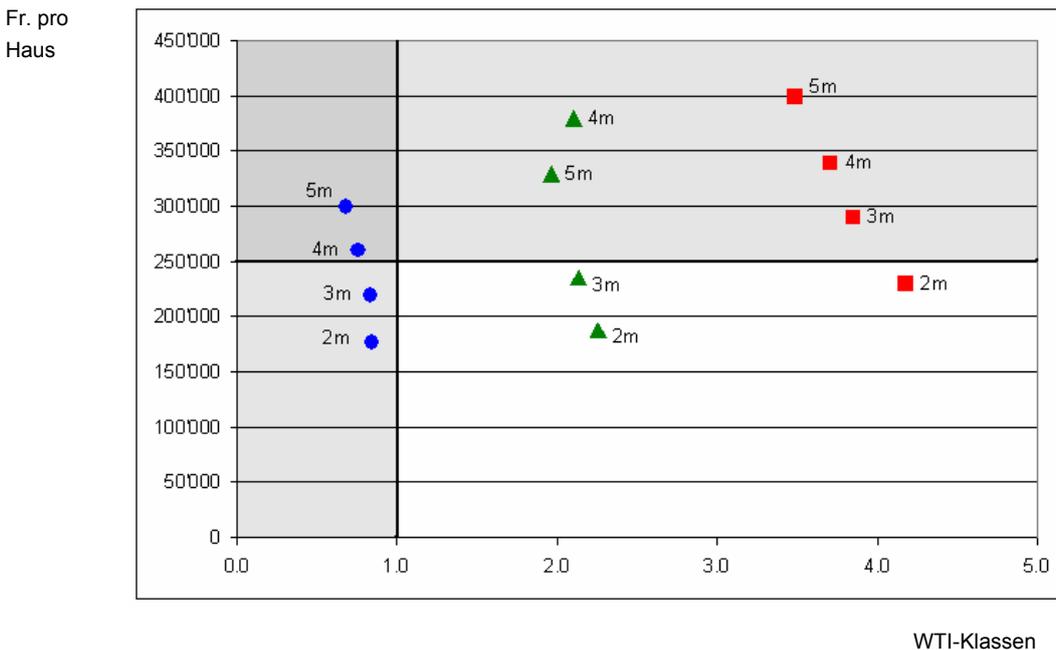
Modellrechnungen:

- städtisch, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)
- ▲ halbstädtisch, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)
- ländlich, Wandhöhen 2.0 bis 5.0m und Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)

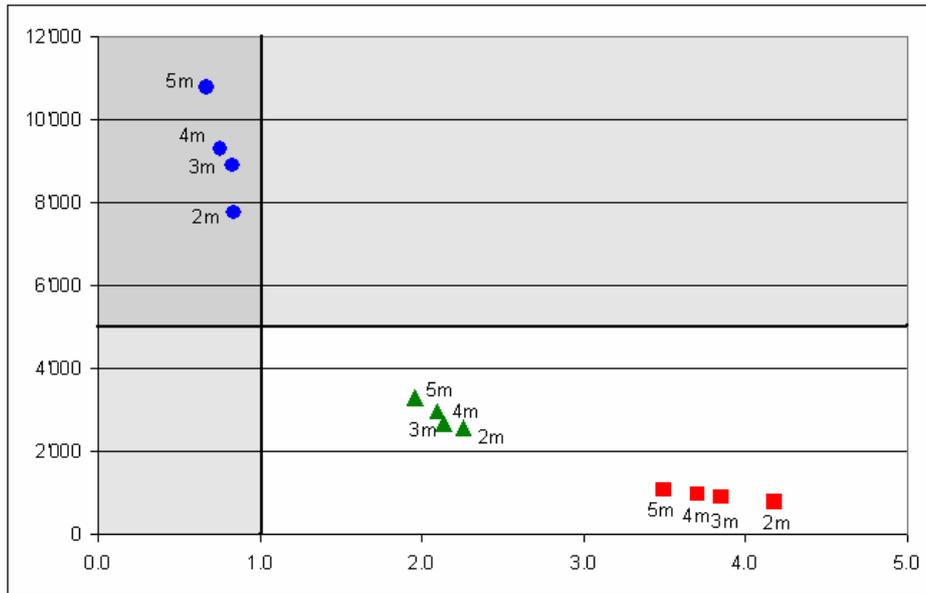
Untersuchte WT-Projekte:

- Birrhard (aktueller Bebauungsgrad)
- Brunegg (aktueller Bebauungsgrad)
- Erstfeld (aktueller Bebauungsgrad)
- Lenzburg (inkl. Galerie; aktueller Bebauungsgrad)
- △ Othmarsingen (zukünftiger Bebauungsgrad)

Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:

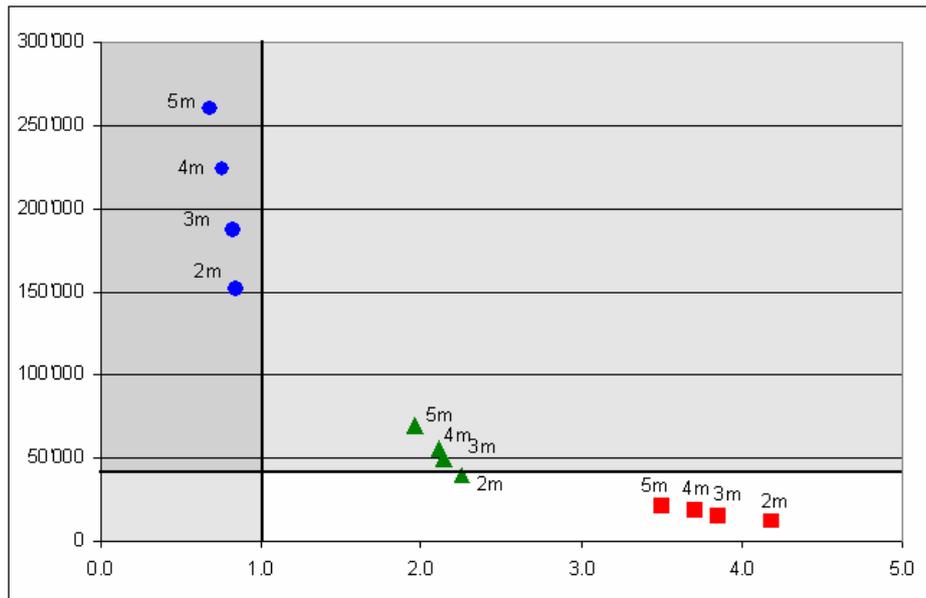


Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

Fr. pro
Wohnung

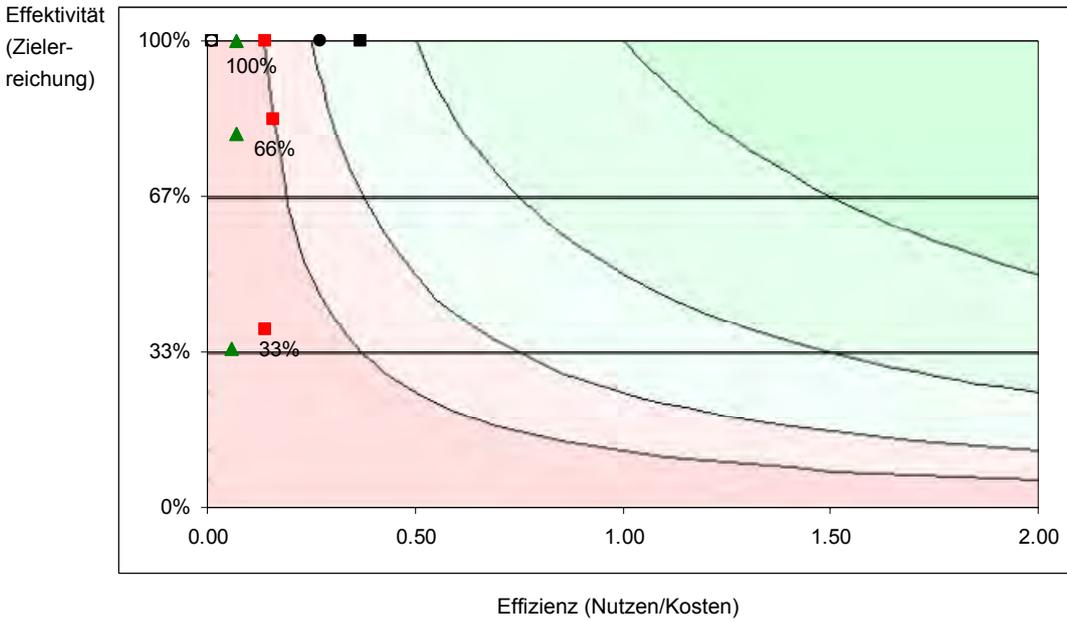


WTI-Klassen

18 Modellrechnungen Überdeckungen

A,B / IV

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:



Legende:

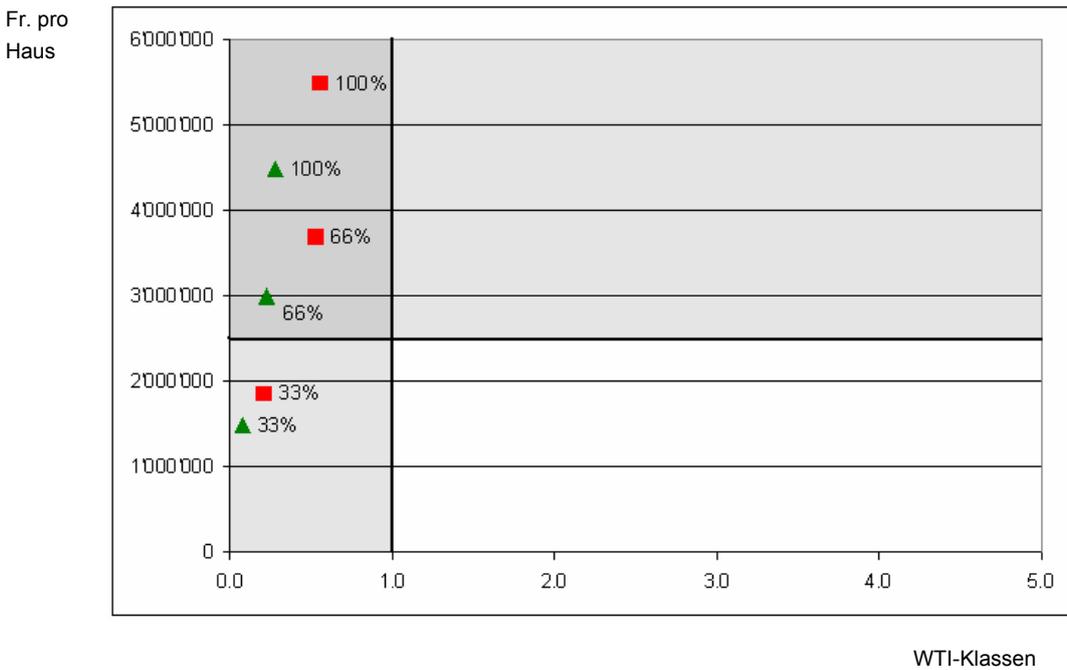
Modellrechnungen:

- städtisch, Länge Überdeckung 33%, 66% und 100% des Siedlungsgebietes
- ▲ halbstädtisch, Länge Überdeckung 33%, 66% und 100% des Siedlungsgebietes

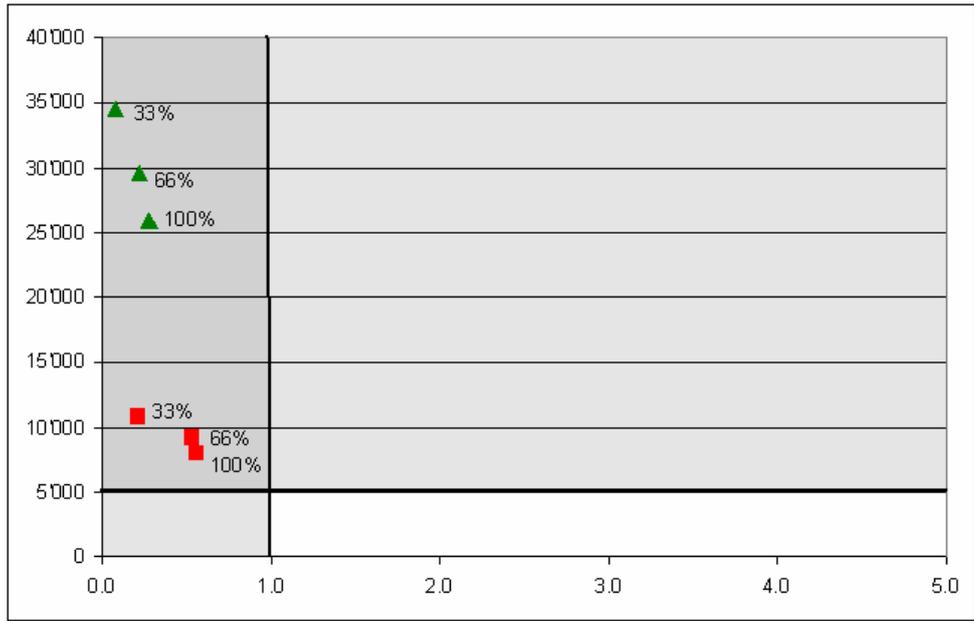
Untersuchte WT-Projekte:

- Chamblioux
- Frick
- Zofingen
- Erstfeld

Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:

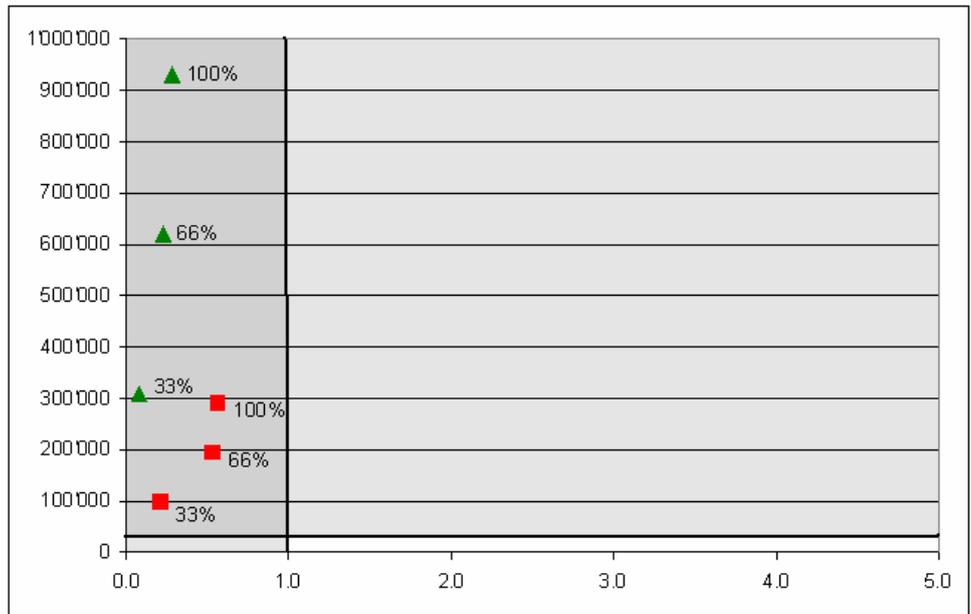


Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

Fr. pro
Wohnung

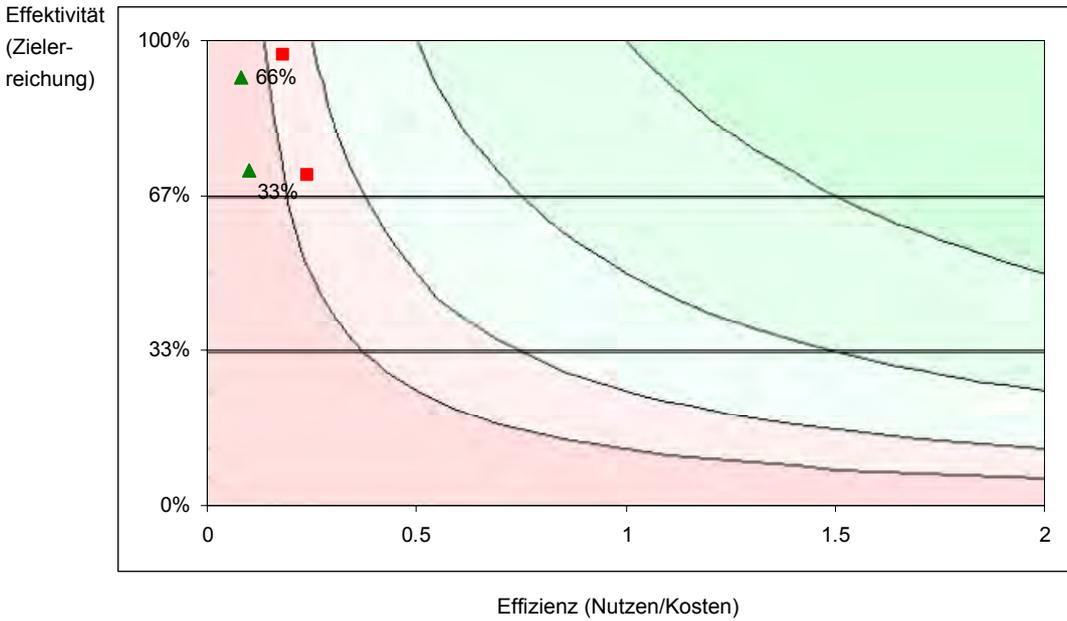


WTI-Klassen

19 Modellrechnungen Überdeckungen und Belag (-3 dBA)

A,B / V

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:

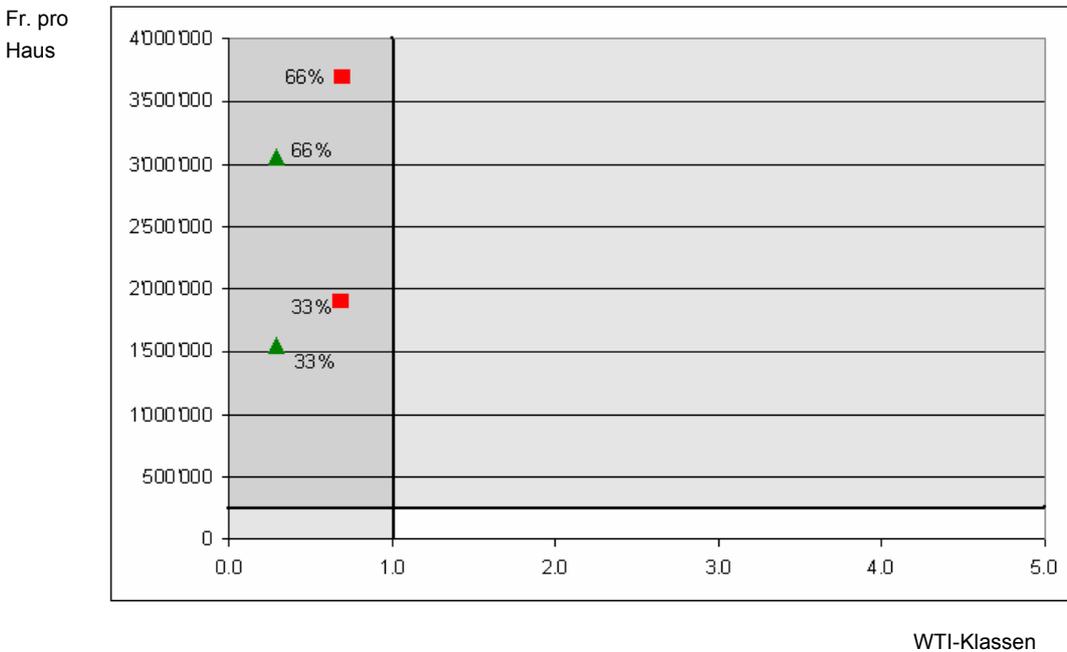


Legende:

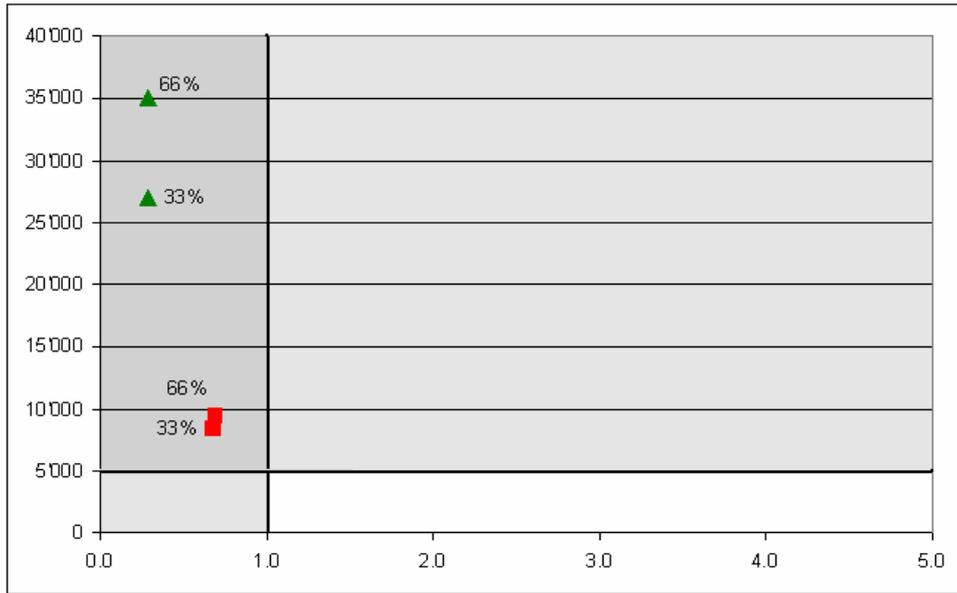
Modellrechnungen:

- städtisch, Länge Überdeckung 33% und 66% des Siedlungsgebietes sowie Belag mit -3 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)
- ▲ halbstädtisch, Länge Überdeckung 33% und 66% des Siedlungsgebietes sowie Belag mit -3 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)

Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:

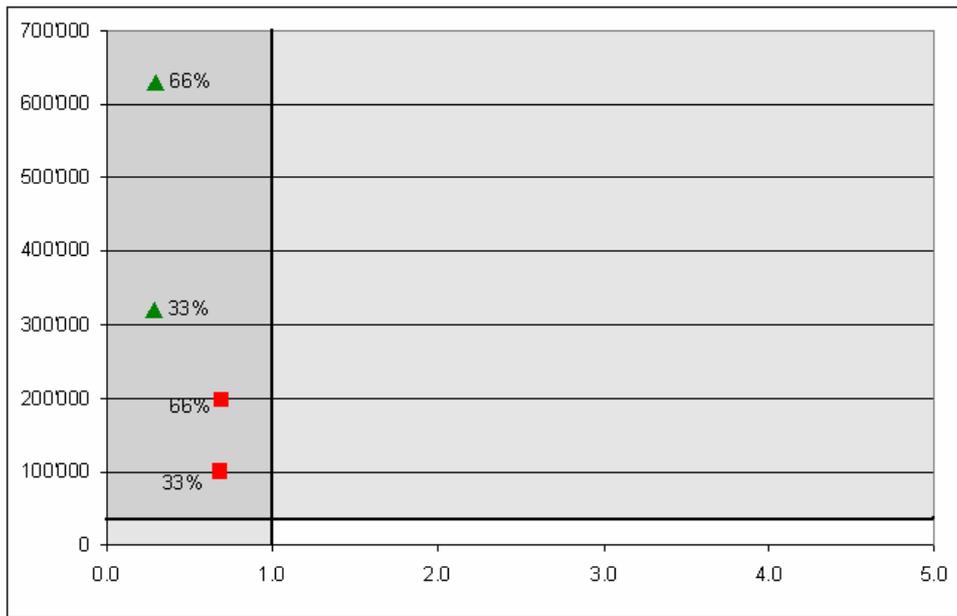


Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

Fr. pro
Wohnung

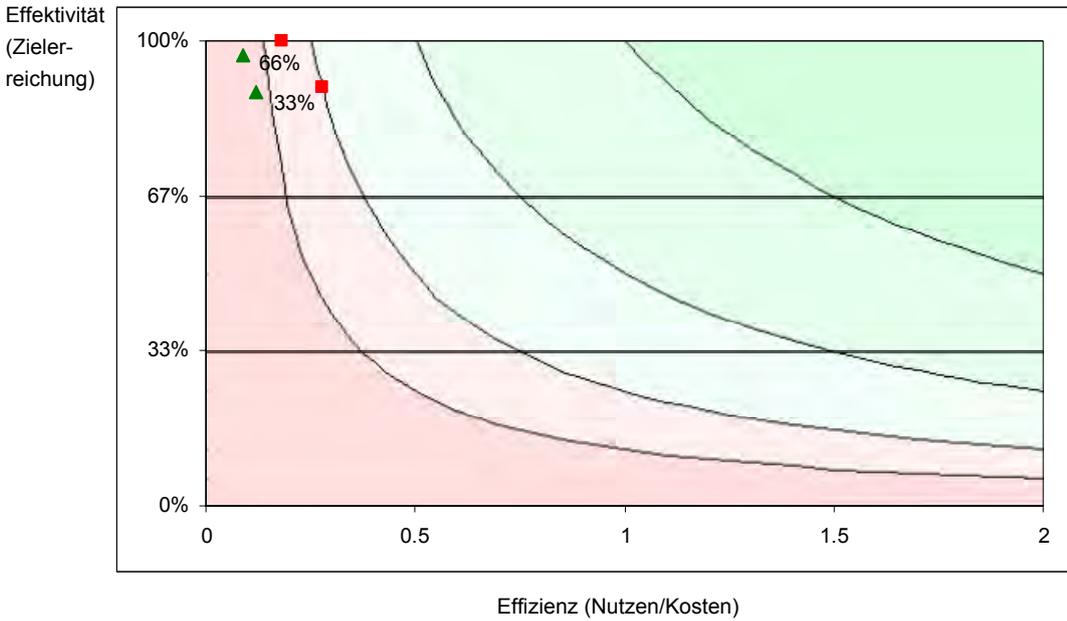


WTI-Klassen

20 Modellrechnungen Überdeckungen und Belag (-5 dBA, Liegedauer 12.5 Jahre)

A,B / V

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:



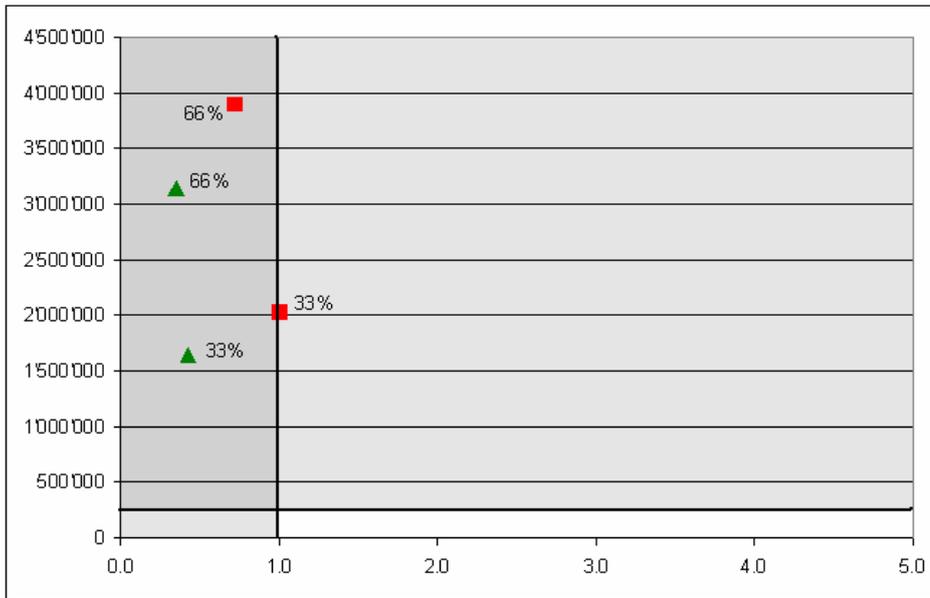
Legende:

Modellrechnungen:

- städtisch, Länge Überdeckung 33% und 66% des Siedlungsgebietes sowie Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 12.5 Jahre)
- ▲ halbstädtisch, Länge Überdeckung 33% und 66% des Siedlungsgebietes sowie Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 12.5 Jahre)

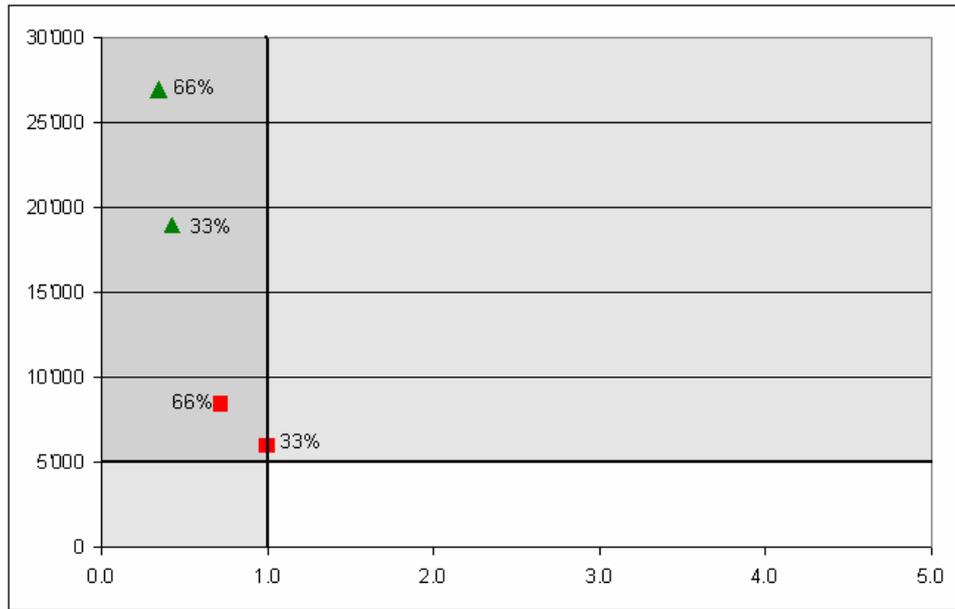
Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:

Fr. pro Haus



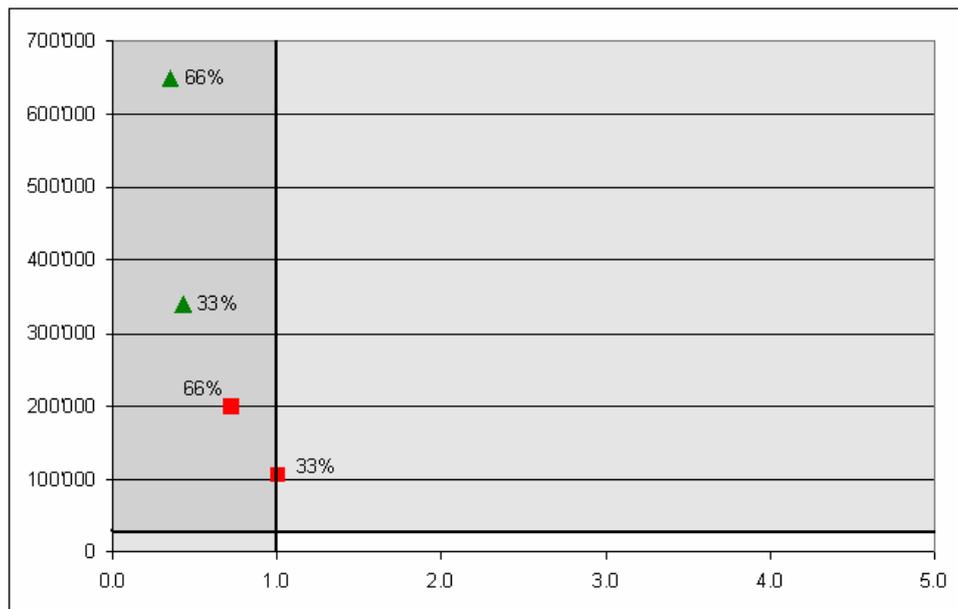
WTI-Klassen

Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

Fr. pro
Wohnung

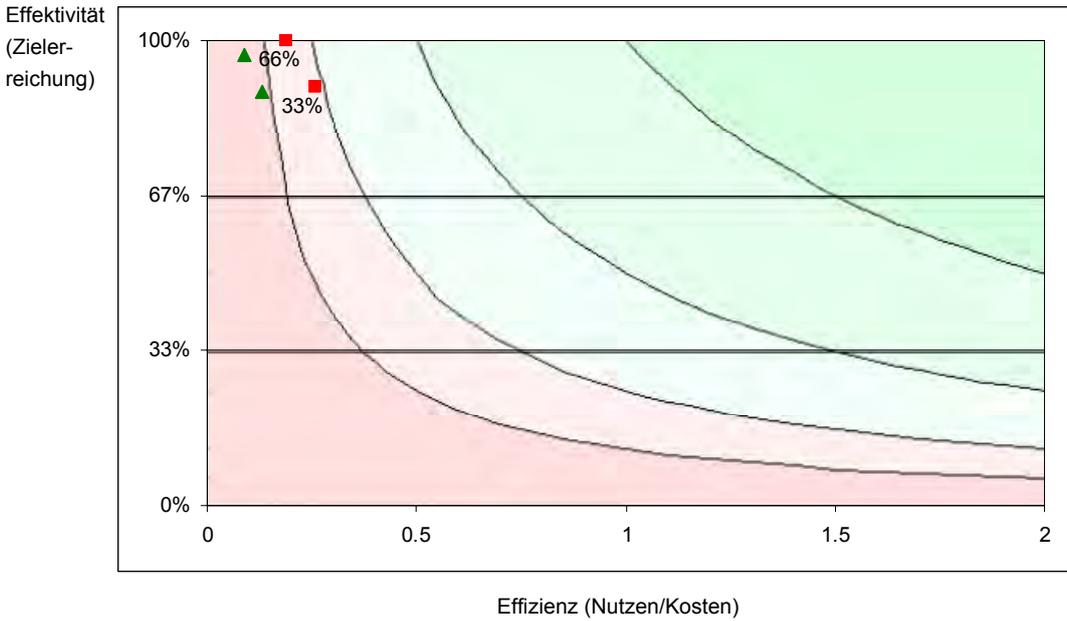


WTI-Klassen

21 Modellrechnungen Überdeckungen und Belag (-5 dBA, Liegedauer 25 Jahre)

A,B / V

Effizienz-/Effektivitäts-Diagramm:



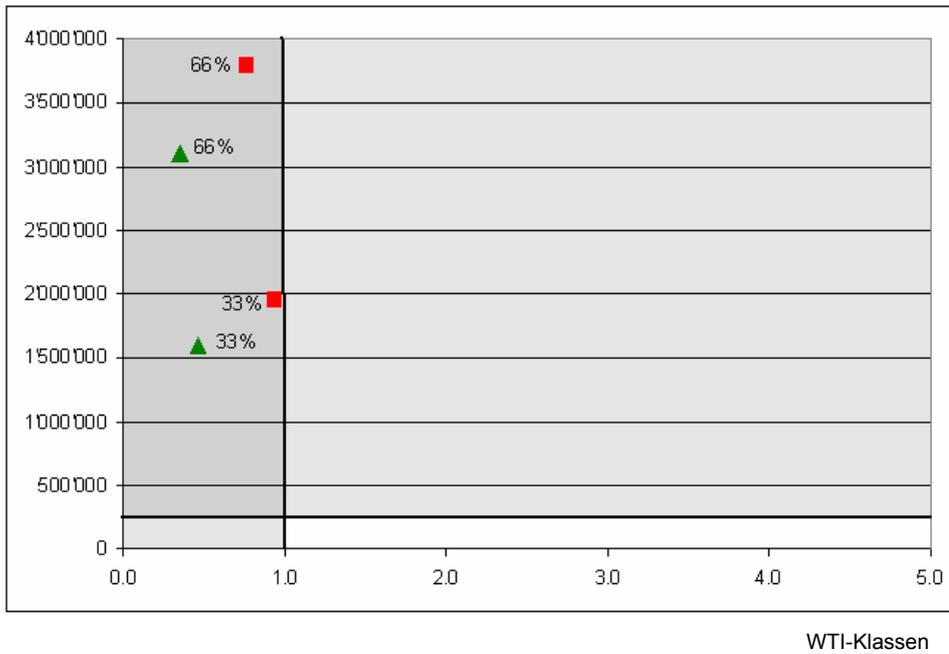
Legende:

Modellrechnungen:

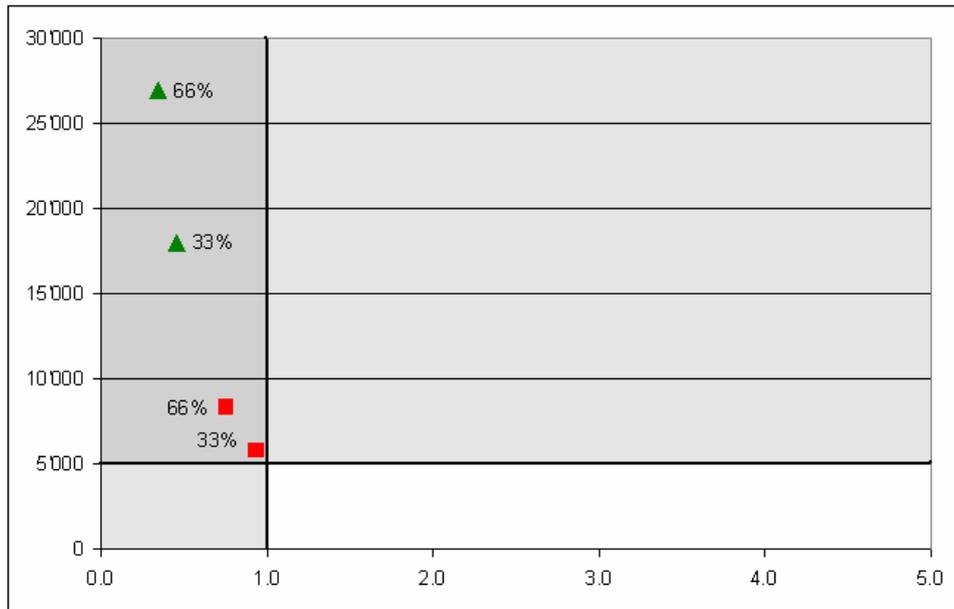
- städtisch, Länge Überdeckung 33% und 66% des Siedlungsgebietes sowie Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)
- ▲ halbstädtisch, Länge Überdeckung 33% und 66% des Siedlungsgebietes sowie Belag mit -5 dBA Wirkung (Liegedauer 25 Jahre)

Vergleich Beurteilung WTI – Checkliste BUWAL/ASTRA:

Fr. pro Haus

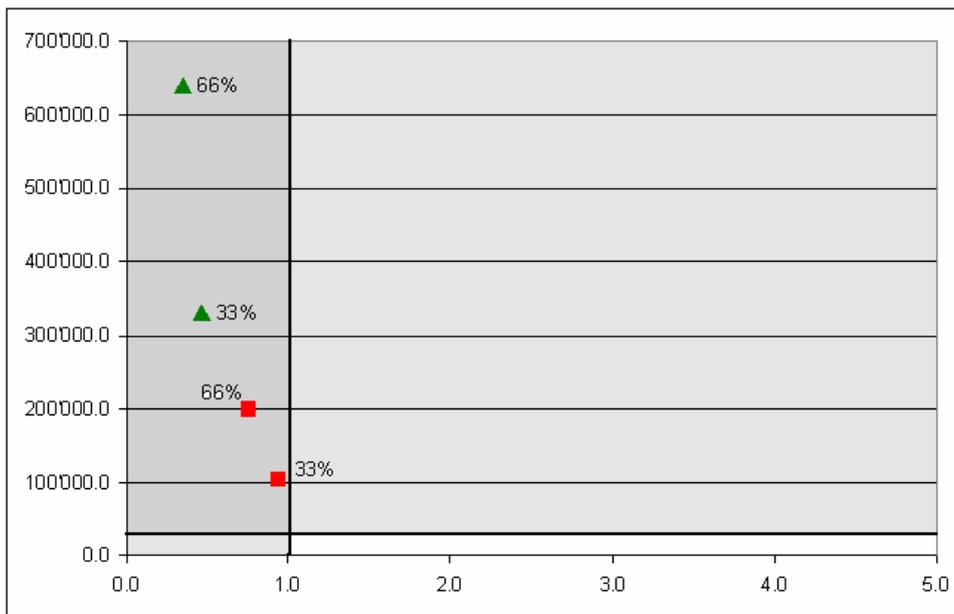


Fr. pro
dBA u.
Einw.



WTI-Klassen

Fr. pro
Wohnung



WTI-Klassen