Ökonomische Bewertung der lärmmindernden Wirkung offenporiger Asphaltdeckschichten

Bericht incl. Vergleich mit geräuschoptimiertem Splittmastixasphalt

im Auftrag des
Deutschen Asphaltverbandes e.V. (DAV)

Ökonomische Bewertung der lärmmindernden Wirkung offenporiger Asphaltdeckschichten

Bericht incl. Vergleich mit geräuschoptimiertem Splittmastixasphalt

im Auftrag des
Deutschen Asphaltverbandes e.V. (DAV)

Dr.-Ing. Christian Holldorb

Karlsruhe, September 2003

Durth Roos
Consulting GmbH

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

2. Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 3

2.1 Berechnungsmodell 3

2.2 Lärmimmissionen 5

2.3 Bau- und Instandsetzung 6

2.4 Kosten für die Unterhaltung 8

2.5 Lärmschutzwand und -wall 9

3. Szenarienbewertung 10

3.1 Szenario 1: Bundesstraße mit einseitiger Bebauung im Abstand 100 m 10

3.2 Szenario 2: Bundesstraße mit einseitiger Bebauung im Abstand 20 m 14

3.3 Szenario 3: Bundesstraße mit zweiseitiger Bebauung im Abstand 100 m 15

3.4 Szenario 4: Vierstreifige Bundesautobahn mit einseitiger Bebauung im Abstand 200 m 18

3.5 Szenario 5: Vierstreifige Bundesautobahn mit zweiseitiger Bebauung im Abstand 200 m 20

3.6 Szenario 6: Sechsstreifige Bundesautobahn mit einseitiger Bebauung im Abstand 200 m 22

3.7 Szenario 7: Sechsstreifige Bundesautobahn mit zweiseitiger Bebauung im Abstand 200 m 25

4. Zusammenfassende Empfehlungen zum Einsatz offenporiger Asphaltdeckschichten (OPA) 27

Literaturverzeichnis 31

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen 34

1. Einleitung

Aufgrund ihres hohen Hohlraumgehaltes können offenporige Asphaltdeckschichten (OPA) einen Teil der Fahrgeräusche absorbieren sowie in Verbindung mit der Oberflächentextur die Rollgeräusche der Reifen reduzieren. Daher können bei der Berechnung der Lärmemissionen für OPA reduzierte Lärmpegel gemäß den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90) angesetzt werden, wenn die Dauerhaftigkeit der Wirkung nachgewiesen ist. Bei den früher ausgeführten OPA-Konzeptionen nahm die lärmmindernde Wirkung im Lauf der Zeit ab und konnte auch nicht durch betriebliche Maßnahmen, z.B. eine periodische Reinigung mit Hochdruckwasserstrahl und Absaugung, positiv beeinflusst werden, so dass OPA als lärmmindernde Maßnahme zur Einhaltung der Immissionsgrenzwerte (IGW) kaum zum Einsatz kamen.

Dies änderte sich, als Anfang der 90er Jahre im Zuge des sechsstreifigen Ausbaus der BAB A 2 in Niedersachsen erstmalig in Deutschland im Rahmen von Planfeststellungsverfahren die Auflage erteilt wurde, in großen Bereichen lärmmindernde Deckschichten mit einem Korrekturwert von D_{StrO} = -5,0 dB(A) herzustellen. Dieses Bewertungskriterium wird nur von einer OPA mit einem Kornaufbau 0/8 erfüllt, die im Neuzustand einen Hohlraumgehalt von mindestens 15 Vol.-% aufweist.

Aufgrund der Auswertung von bis dahin vorliegenden Erfahrungen ist auf der BAB A 2 eine OPA 0/8 mit einem Hohlraumgehalt von mindestens 22 Vol.-% im eingebauten Zustand realisiert worden. Mit diesem Konzept sollte durch ein möglichst großes Hohlraumangebot ein ausreichendes Vorhaltemaß für eine lang andauernde lärmmindernde Wirkung geschaffen werden. Um auch eine ausreichende bautechnische Nutzung erreichen zu können, wurden als Bindemittel in der Regel hochpolymermodifizierte Bitumen eingesetzt, so dass die für eine gute Alterungsbeständigkeit notwendigen dicken Bindemittelfilme um das Gestein erreicht werden konnten. Diese wesentlich verbesserte Bauweise der OPA wird als OPA der III. Generation bezeichnet [1].

Auf der Basis von Langzeituntersuchungen an weiteren Abschnitten mit OPA durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, die diese in einem Statuspapier veröffentlichte, kann für OPA der II. Generation von einer lärmmindernden Wirkung von mindestens vier bis sechs Jahren ausgegangen werden [2]. Für OPA der III. Generation, die seit 1998 eingebaut werden sollen, kann sogar „von einer über diese Zeiträume hinausgehenden akustischen Wirksamkeit sowie einer besseren

Anfangsminderung ausgegangen werden“ [3]. Daher können OPA als Alternative zu anderen lärmmindernden Maßnahmen (insbes. Lärmschutzwände und -wälle) zum Einsatz kommen, ihre Wirksamkeit muss jedoch nach vier bis sechs Jahren überprüft werden. Allerdings ist der Einsatz von OPA durch das BMVBW derzeit noch auf Ausnahmefälle beschränkt [3].

Im Rahmen einer ökonomischen Bewertung werden in diesem Bericht die zusätzlichen Kosten für lärmmindernde Beläge den Einsparungen gegenübergestellt, die durch den Verzicht auf bzw. die Reduktion der Bauhöhe von Lärmschutzwällen und -wänden möglich sind. Hierfür werden in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedene Einsatzszenarien berücksichtigt sowie zwei Belagsvarianten (ohne und mit Korrekturwert D_{StrO} = -2,0 dB(A)) mit dem lärmmindernden Belag verglichen. Grundlage der Berechnungen sind das in Deutschland geltende Technische Regelwerk sowie weitere veröffentlichte Daten. Neben den Parametern, die in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung quantifizierbar sind, haben jedoch noch weitere Faktoren, z.B. Drainagefähigkeit und Verkehrsbehinderungen bei der Instandsetzung, Einfluss auf die Gesamtbewertung, die im Rahmen der zusammenfassenden Empfehlungen zum Einsatz von OPA berücksichtigt werden.

2. Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

2.1 Berechnungsmodell

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden Vergleichsrechnungen für den Einsatz von OPA als Alternative zum Einsatz von Lärmschutzwänden und -wällen durchgeführt. Hierbei werden die Kosten für den Straßenbaulastträger berücksichtigt, die sich hinreichend genau prognostizieren lassen. Weitere Vor- und Nachteile für Verkehrsteilnehmer und Anwohner (s.u.) lassen sich nur unzureichend monetär bewerten und bleiben daher entsprechend den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS 1997) [4] in der Betrachtung unberücksichtigt.

Die Kostenberechnung wird als Teilkostenrechnung durchgeführt, bei der nur entscheidungsrelevante Komponenten berücksichtigt werden, irrelevante Komponenten jedoch unberücksichtigt bleiben. Somit werden bei den Baukosten zur erstmaligen Herstellung der Straße beispielsweise nur die Differenzkosten zwischen OPA und Referenzbelag berücksichtigt. Bei der Instandhaltung werden hingegen alle Instandhaltungskosten aufgenommen, da die Instandhaltungsintervalle von OPA und Referenzbelag differieren. Folgende Kostenkomponenten werden in die Berechnung einbezogen:

- Differenz der Baukosten für die Herstellung der OPA bzw. eines Referenzbelages
- Instandsetzungskosten für OPA und Referenzbelag
- Differenz der Unterhaltungskosten (Bauliche Unterhaltung, Winterdienst) zwischen OPA und Referenzbelag
- Bau- und Unterhaltungskosten für Lärmschutzwand und -wall als alternativer Lärmschutz

Entsprechend den EWS [4] werden die einmaligen Kosten auf den Zeitpunkt der Fertigstellung bezogen; hierfür müssen die zukünftig anfallenden Kosten mit einem Zinssatz von 3 % p.a. abgezinst werden. Preissteigerungen bei künftig anfallenden Kosten bleiben unberücksichtigt, da der zugrunde liegende Zinssatz dem langfristigen Realzins entspricht. Abweichend von den EWS werden als Bewertungszeitraum 30 Jahre zugrunde gelegt, um auch längerfristige Instandsetzungsintervalle mit ausreichender Genauigkeit berücksichtigen zu können. Die auf den Zeitpunkt der Fertigstellung bezogenen Kosten werden dann in einem weiteren Schritt in jährliche

Kosten über den Bewertungszeitraum mit Hilfe der Annuitätenmethode umgewandelt. Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind somit jährlich anfallende Differenzkosten für den Einsatz einer OPA und einer alternativen Lärmschutzmaßnahme. Sind diese Differenzkosten positiv, so ist der Einsatz einer OPA wirtschaftlich vorteilhaft; bei negativen Differenzkosten sind mit der alternativen Lärmschutzmaßnahme geringere Kosten zu erwarten. Da die Abschreibungszeiträume von Lärmschutzwällen und -wänden nicht mit dem Untersuchungszeitraum korrelieren, werden für sie Restwerte unter Berücksichtigung der Restlebensdauer und einer linearen Abschreibung berücksichtigt.

Folgende Komponenten gehen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht ein, da sie sich nicht hinreichend genau prognostizieren oder monetär bewerten lassen:

- **Auswirkungen der verbesserten Drainagefähigkeit**: Durch den Wegfall bzw. die Reduktion des Wasserfilms an der Fahrbahnoberfläche werden zum einen die Sichtbehinderungen infolge Sprühfahnen reduziert und zum anderen die Griffigkeit bei nasser Fahrbahn erhöht. Positive Auswirkungen auf das Unfallgeschehen sind jedoch nicht mit ausreichender Sicherheit nachweisbar. Der erhöhte Fahrkomfort, der auch durch das häufig angenehmere Fahrgeräusch bei trockener und nasser Fahrbahn gesteigert wird, lässt sich ebenfalls nicht monetär bewerten.

- **Auswirkungen reduzierter Instandsetzungsintervalle auf Betriebs- und Zeitkosten der Verkehrsteilnehmer**: Die Verkehrsbehinderungen durch häufigere Instandsetzungsmaßnahmen lassen sich nur sehr schwer abschätzen. Neben der Art der Verkehrsführung, der Verkehrsmenge zum Zeitpunkt der Instandsetzungsmaßnahme und dem Maßnahmezeitpunkt werden diese Kosten durch Fahrverhalten, Kraftstoffverbrauch und Geschwindigkeitsverhalten maßgeblich beeinflusst. Es ist davon auszugehen, dass nur dann Nutzerkosten größeren Umfanges auftreten, wenn es zu Verkehrsstauungen während der Instandsetzungsmaßnahme kommt; die zusätzlichen Nutzerkosten infolge geringerer Fahrgeschwindigkeiten im Baustellenbereich sind nur gering [5].

- **Visuelle Trennwirkung und Verschattung infolge Lärmschutzwand oder -wall**: Insbesondere bei geringem Bebauungsabstand und/oder großer Höhe von Wand oder Wall können sich Trennwirkung und Verschattung negativ auf die Wohn- bzw. Aufent-

haltsqualität im Freien auswirken. Diese lassen sich jedoch derzeit nicht eindeutig monetär bewerten [4].

2.2 Lärmimmissionen

Die durch den Neubau einer Straße erzeugten Lärmimmissionen dürfen die Immissionsgrenzwerte (IGW) gemäß § 2, Abs. 1 der 16. BImSchV nicht überschreiten [6]. Der maßgebende Immissionspegel wird gemäß den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90) berechnet [7]. Er hängt von einer Vielzahl von Einflussgrößen ab, u.a. von Verkehrsstärke und -zusammensetzung, der Belagsart, der Topografie, dem Bebauungsabstand, Bebauung und Hindernissen. Überschreitet der berechnete Immissionspegel den IGW, werden Schallschutzmaßnahmen notwendig. Hierbei ist gemäß [6] den aktiven Schallschutzmaßnahmen, zu denen auch Lärmschutzwände und -wälle gehören, den Vorzug zu geben. Als aktive Lärmschutzmaßnahme kann auch die Reduktion der Emissionspegel durch die Verwendung von OPA eingestuft werden, so dass diese hinsichtlich der Qualität des Lärmschutzes gleichwertig sind.

Beim Einsatz von OPA kann bei Außerortsstraßen mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten > 60 km/h für die Berechnung der Immissionspegel eine Reduktion der Lärmminderung angesetzt werden, wenn sie im Neuzustand einen Hohlraumgehalt von mindestens 15 % aufweisen. Der Fahrbahnoberflächen-Korrekturwert D_{StrO} beträgt -5 dB(A) bei Kornaufbau 0/8 bzw. -4 dB(A) bei Kornaufbau 0/11 [3]. Aufgrund der von der Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlichten Ergebnissen ist diese lärmmindernde Wirkung bei OPA der II. Generation, die über einen Hohlraumgehalt von mindestens 22 % verfügen, für eine Zeitdauer von sechs Jahren (vier Jahre bei Aufbau 0/11 an einbahnigen Straßen) gewährleistet. Für OPA der III. Generation, wie sie seit 1998 eingebaut werden, ist sogar eine verbesserte akustische Dauerhaftigkeit zu erwarten; auf Grund fehlender Erfahrungswerte ist diese jedoch noch nicht abgesichert. Nach dieser Zeit sind die Immissionspegel zu überprüfen und ggf. eine neue Deckschicht einzubauen.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird von einer OPA 0/8 mit ausreichendem Hohlraumgehalt ausgegangen, so dass eine lärmmindernde Wirkung von mindestens sechs Jahren zum Ansatz kommen kann. In den Berechnungen wird bei der angrenzenden Bebauung von reinen und allgemeinen Wohngebieten ausgegangen, für die IGW von 59 dB(A) bei Tag bzw. 49 dB(A) bei Nacht einzuhalten sind.

Die Berechnung der Immissionspegel erfolgt mit dem EDV-Programm SoundPLAN®, Version 5.6 gemäß RLS-90. Maßgebende Verkehrsstärke M und maßgebender Lkw-Anteil p werden gemäß Tabelle 3 der RLS-90 für die Tages- und Nachtstunde auf Grundlage des angesetzten DTV berechnet. Für die Berechnungen wird von ebenem Gelände sowie vereinfacht von einem „langen, geraden" Fahrstreifen ohne Längsneigung ausgegangen. Der Immissionspegel wird für eine vierstöckige Einzelbebauung berechnet; maßgebend ist in der Regel der Immissionspegel im 3. Obergeschoss.

Als Referenzbelag wird ein konventioneller Splittmastixasphalt (SMA) betrachtet. Hierbei wird differenziert nach einem SMA, für den kein Fahrbahnoberflächen-Korrekturwert angesetzt werden kann (SMA_0), und einem SMA ohne Absplittung, für den gemäß [3] die Lärmminderung D_{StrO} = -2,0 dB(A)) beträgt (SMA_{-2}).

2.3 Bau- und Instandsetzung

Maßgebend für die Instandsetzungsintervalle der OPA ist ihre lärmtechnische Lebensdauer, die mindestens sechs Jahre beträgt. Somit werden im 30-jährigen Untersuchungszeitraum vier Instandsetzungsmaßnahmen beim OPA berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in vielen Fällen für OPA der III. Generation die lärmmindernde Wirkung länger andauert, so dass in der Praxis häufig auch die bautechnische Lebensdauer maßgebend wird, die aufgrund der bisherigen Erfahrungen für OPA mit ca. zehn Jahren angenommen werden kann. In diesem Fall wären nur zwei Instandsetzungen nach 10 und 20 Jahren zu berücksichtigen. In der nachfolgenden Szenarienbewertung wird dies alternativ zum vorgenannten sechsjährigen Instandsetzungszyklus betrachtet.

Für den Referenzbelag, den konventionellen Splittmastixasphalt, liegen bisher keine abgesicherten Erfahrungen zur Lebensdauer vor. In Anlage 10 der Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen (RPE-Stra 01) wird als vorläufiger Wert für Splittmastixasphalt bei den Bauklassen SV, I und II 16 Jahre genannt [8]. Hierauf aufbauend wird für den Splittmastixasphalt von einer Instandsetzungsmaßnahme zur Hälfte des Untersuchungszeitraumes ausgegangen.

Eindeutige Aussagen zu den Bau- bzw. Instandsetzungskosten sind nicht möglich. Sie unterliegen u.a. regionalen und konjunkturellen Einflüssen. Höhere Kosten bei OPA resultieren aus den

erhöhten Materialanforderungen, der hohen Einbauqualität, der notwendigen Abdichtung gegenüber den unteren Schichten sowie den Zusatzkosten für die seitliche Wasserableitung, wenn die Straße nicht frei über die Böschung entwässert. Im Außerortsbereich ist dies jedoch in der Regel der Fall, so dass keine Zusatzkosten für die Entwässerung berücksichtigt werden. Kostenmindernd bei OPA wirkt sich der hohe Hohlraumgehalt aus, der bei gleicher Einbaudicke der Deckschicht zu einer erheblichen Materialersparnis führt.

Für OPA lagen die Baukosten incl. notwendiger Abdichtung in den Neunziger Jahren bei ca.15 DM/m² und damit ca. 6 DM/m² über den Baukosten für konventionellen Asphalt [9]. Im Bereich der Autobahndirektion Nordbayern wurden Mitte 2001 OPA für ca. 10 EUR/m² angeboten. Die Kosten für die Dichtungsschicht mit Splittabstreuung, die während der Bauzeit auch befahren wurde, lag bei ca. 2,50 EUR/m². Zum Vergleich lagen die Kosten für einen Splittmastixasphalt bei 4,50 EUR/m² und damit 8 EUR/m² niedriger [10]. Über erheblich günstigere Baukosten wird in [11] berichtet: Aufgrund aktueller Erfahrungen, vor allem mit dem Einbau auf Autobahnen in Niedersachsen, liegen die Mehrkosten gegenüber einem Splittmastixasphalt bei nur 1,50 EUR/m^2. Aus Dänemark werden zusätzliche Kosten für den Straßenaufbau bei einem zweilagigen OPA von ca. 5 EUR/m² gegenüber einem Asphaltbeton 0/11 genannt [11]. Es wird deutlich, dass mit der Verwendung von OPA höhere Baukosten verbunden sind; diese lassen sich jedoch nicht allgemeingültig quantifizieren. Für die weiteren Berechnungen werden auf Basis der vorgenannten Veröffentlichungen Mehrkosten von 3 EUR/m^2 angesetzt.

Bei der Instandsetzung der Deckschicht fallen neben den Baukosten für den Belag weitere Kosten für das Abfräsen der alten Decke, die Baustelleneinrichtung etc. an. Diese Zusatzkosten werden bei beiden Alternativen mit je 7 EUR/m² gleich hoch angesetzt. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die in Tabelle 1 zusammengestellten Werte berücksichtigt.

	OPA	**SMA**
Differenzkosten Neubau	3 EUR/m²	
Instandsetzungszeitpunkte	nach 6, 12, 18 und 24 Jahren (alternativ: nach 10 und 20 Jahren)	nach 15 Jahren
gesamte Instandsetzungskosten je Instandsetzungsaufnahme	15 EUR/m²	12 EUR/m²

Tabelle 1: Bemessungsparameter für Bau und Instandsetzung von OPA und SMA

2.4 Kosten für die Unterhaltung

Bewertungsrelevante Zusatzkosten für OPA sind bei der Baulichen Unterhaltung sowie dem Winterdienst zu berücksichtigen. Zusatzkosten für eine aufwendige Reinigung mit Hochdruckwasserstrahl und Absaugung des Wasser-Schmutz-Gemisches werden nicht angesetzt, da im Rahmen einer Langzeituntersuchung kein positiver Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der lärmmindernden Wirkung nachgewiesen werden konnte [13, 14].

Für die Bauliche Unterhaltung entstehen bei OPA höhere Kosten, da Flickarbeiten in der Regel großflächiger durchgeführt werden müssen. Um einen einwandfreien Abfluss des Niederschlagswassers zu gewährleisten, ist es notwendig, den gesamten in Fließrichtung liegenden Teil der Oberfläche auszutauschen und die Ränder der Flickstelle möglichst in Fließrichtung auszubilden. Auch kann es bei Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen eher notwendig werden, den Belag auszutauschen [10]. In der Vergangenheit wurde auch über höhere Kosten für die Markierung berichtet, da zum einen mehr Markierungsfarbe benötigt wird und zum anderen die Farbe aufgrund einer geringen Kontaktfläche mit der Fahrbahnoberfläche schneller abgefahren wird [9]. Die Mehrkosten für die bauliche Unterhaltung von OPA werden überschlägig mit 0,20 EUR/m² p.a. angesetzt.

OPA kühlen aufgrund ihres Hohlraumgehaltes im Winter rascher aus, so dass ähnlich wie auf Brücken häufiger Winterdiensteinsätze notwendig werden. Weiterhin bleibt das Streusalz nicht vollständig auf der Fahrbahnoberfläche liegen, sondern wandert zum Teil in die Poren. Hieraus resultieren zum einen ein erhöhter Streusalzverbrauch und zum anderen tendenziell höhere Einsatzkosten durch vermehrte Winterdiensteinsätze. Während in [9] ein erhöhter Streusalzverbrauch von durchschnittlich 25 % angesetzt wird, wird in [10] von einem Mehrverbrauch von bis zu 50 % berichtet.

Vereinfachend werden im weiteren pauschal 50 % erhöhte Winterdienstkosten berücksichtigt. Als Berechnungsgrundlage werden die mittleren Winterdienstkosten der Winter 1996/97 bis 2001/02 herangezogen, die für Bundesautobahnen bei 5.300 EUR und für Bundesstraßen bei 1.500 EUR je Streckenkilometer lagen [15].

2.5 Lärmschutzwand und -wall

Alternativ zum Einsatz von OPA wird der Bau von Lärmschutzwänden und -wällen untersucht. Die Höhe dieser aktiven Lärmschutzmaßnahmen wird iterativ im Rahmen der Berechnung der Immissionspegel so ermittelt, dass die maßgebenden IGW am Immissionsort eingehalten werden. Weiterhin wird analysiert, inwieweit Wälle und Wände in ihrer Höhe reduziert werden können, wenn eine OPA eingebaut wird.

Die Anordnung der Lärmschutzwände und -wälle neben der Fahrbahn richtet sich nach den Richtzeichnungen für Lärmschirme außerhalb von Kunstbauten (RiZaK-88) [16]. Diese sieht für Wände einen Regelabstand von 2,50 m neben dem rechten Fahrbahnrand vor. Bei Wällen soll der Böschungsfuß 1,00 bis 2,50 m neben dem unbefestigten Bankett beginnen; in den Berechnungen wird daher ebenfalls ein Abstand von ca. 2,50 m berücksichtigt. Für die Wälle wird eine Regelneigung von 1:1,5 sowie eine 1,00 m breite Dammkrone angesetzt.

Die Investitionskosten basieren auf der Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2001, die vom BMVBW herausgegeben wurden [17]. Danach betrugen die Kosten für Lärmschutzwände von 1998 bis 2001 im Mittel 250 EUR/m² Wandfläche. Hierbei unberücksichtigt bleiben überproportionale Kostensteigerungen bei sehr hohen Wänden aufgrund dann auftretender besonderer statischer Anforderungen. Ist die Bebauung sehr dicht an der Straße bzw. hinter der Lärmschutzwand angeordnet, so werden transparente Bauweisen in die Berechnung einbezogen; ihre Kosten lagen 2001 im Mittel bei 443 EUR/m², zum Ansatz kommen 445 EUR/m².

Die Kosten der Lärmschutzwälle sind sehr stark von den Grunderwerbskosten sowie der Verfügbarkeit der benötigten Materialien abhängig. Im Mittel betrugen sie incl. Grunderwerb im Zeitraum 1979 bis 2001 7 EUR/m³ [17]. Für einen 4 m hohen Wall sind somit beispielsweise Kosten von 196 EUR je lfd m anzusetzen.

Als Abschreibungszeiträume werden gemäß EWS für Lärmschutzwände 25 a und für Wälle 100 a angesetzt [4]. Besondere Unterhaltungskosten für Lärmschutzwälle bleiben unberücksichtigt, da die anfallenden Aufwendungen - vor allem im Rahmen der Grünpflege - nur schwer quantifizierbar sind. Für Lärmschutzwände werden jährliche Unterhaltungskosten gemäß [12] von 2,50 EUR je lfd m angesetzt. Sie berücksichtigen kleine Reparaturarbeiten, aber ggf. auch Reinigungsleistungen sowie Kontroll- und Wartungsarbeiten.

3. Szenarienbewertung

3.1 Szenario 1: Bundesstraße mit einseitiger Bebauung im Abstand 100 m

In Szenario 1 wird der Einsatz einer OPA auf einer Umgehungsstraße untersucht. Für sie wird ein DTV-Wert von 15.000 Kfz/24 h sowie eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h zugrunde gelegt. Die Umgehungsstraße ist als Bundesstraße klassifiziert und mit einem Regelquerschnitt RQ 10,5 trassiert. Die einseitige Bebauung hat einen Abstand von 100 m zur Straßenachse. Neben diesen szenarien-spezifischen Parametern werden die allgemeinen Bewertungsparameter gemäß Kapitel 2 angesetzt.

Für dieses Szenario betragen bei Einsatz einer OPA die maximalen Immissionspegel am Tag 56,3 dB(A) und in der Nacht 48,9 dB(A) und unterschreiten damit die geltenden IGW von 59 dB(A) bzw. 49 dB(A). Somit sind keine weiteren Lärmschutzmaßnahmen notwendig. Bei Einbau des Referenzbelages ohne lärmmindernde Wirkung liegen die Emissionspegel hingegen um 5 dB(A) höher, so dass eine alternative Lärmschutzmaßnahme zur Einhaltung der IGW notwendig wird. Bei Einbau eines SMA_0 als Referenzbelag kann hierfür entweder ein Lärmschutzwall in einer Höhe von 3,90 m oder alternativ eine Lärmschutzwand in einer Höhe von 2,60 m gebaut werden. Bei Verwendung des SMA_{-2} ist ein 3,00 m hoher Wall bzw. eine 2,10 m hohe Wand notwendig. Für den Lärmschutzwall wird ein ca. 13 m bzw. 10 m (bei 3 m Wallhöhe) breiter Geländestreifen benötigt. Steht diese Fläche nicht zur Verfügung, wird die teurere Lärmschutzwand notwendig. Aufgrund des großen Abstandes der Bebauung und der geringen Höhe wird in diesem Szenario eine konventionelle und keine transparente Lärmschutzwand berücksichtigt.

Für einen 1 km langen Streckenabschnitt betragen die zusätzlichen Baukosten für eine OPA ca. 22.500 EUR. Die Baukosten einer 1 km langen, 2,60 m hohen Lärmschutzwand belaufen sich hingegen auf ca. 650.000 EUR; für den 3,90 m hohen Lärmschutzwall fallen ca. 187.000 EUR Bau- und Grunderwerbskosten an. Bei einer Wand mit 2,10 m Höhe liegen die Baukosten bei 525.000 EUR, für den 3 m hohen Lärmschutzwall bei 115.500 EUR. Somit können die Baukosten während der Bauphase durch den Einsatz einer OPA deutlich gesenkt werden.

Bei den Investitionskosten für Lärmschutzwand und -wall ist weiterhin deren Lebensdauer zu berücksichtigen. Aufgrund der hohen Lebensdauer für den Lärmschutzwall von 100 Jahren er-

gibt sich bei linearer Abschreibung ein Restwert von ca. 131.000 EUR bzw. 81.000 EUR in 30 Jahren, der auf den Bezugszeitpunkt diskontiert ca. 54.000 EUR bzw. 33.000 EUR beträgt. Bei der Lärmschutzwand ist hingegen zu berücksichtigen, dass nach 25 Jahren eine neue Lärmschutzwand notwendig wird, die am Ende des Untersuchungszeitraums ebenfalls einen Restwert hat. Hierfür sind weitere Kosten in Höhe von ca. 96.000 EUR bzw. 78.000 EUR bezogen auf den Bezugszeitpunkt anzusetzen.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind vor allem die langfristig anfallenden Kosten von Bedeutung. Daher sind die Instandsetzungskosten für die Erneuerung der Deckschicht zu berücksichtigen, die für eine OPA einmalig ca. 112.500 EUR und für den Referenzbelag lediglich 90.000 EUR betragen. Berücksichtigt man zusätzlich kürzere Instandsetzungsintervalle für die OPA aufgrund einer abnehmenden Lärmminderung, so liegen die Instandsetzungskosten für OPA deutlich höher als für den Referenzbelag. Geht man von einer nur sechsjährigen Nutzungsdauer als Mindestwert aus, so summieren sich für die OPA die zusätzlichen Instandsetzungskosten innerhalb von 30 Jahren, bezogen auf das Jahr der Fertigstellung, auf ca. 237.000 EUR je Streckenkilometer. Bei einer zehnjährigen Nutzungsdauer des lärmmindernden Belages, der nach Ablauf der ersten sechs Jahre durch entsprechende Lärmmessungen nachzuweisen wäre, würden sich die Mehrkosten auf ca. 88.000 EUR belaufen.

Die Kostenunterschiede im laufenden Betrieb sind im Vergleich zu Bau- und Instandhaltungskosten eher gering: Für die bauliche Unterhaltung kommen 375 EUR p.a., für den Winterdienst 750 EUR p.a. zusätzliche Kosten bei einer OPA zum Ansatz. Demgegenüber stehen Unterhaltungskosten von 6.500 EUR p.a. für die 1 km lange Lärmschutzwand. Beim Lärmschutzwall werden keine zusätzlichen Unterhaltungskosten angesetzt.

In den Abbildungen 1 bis 4 sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das Szenario Bundesstraße mit einseitiger Bebauung im Abstand von 100 m zusammengestellt. Es wird deutlich, dass der Einbau einer OPA im Vergleich zu einem Lärmschutzwall keine Kostenvorteile für den Straßenbaulastträger erwarten lässt. Bei einer prognostizierten Nutzungsdauer von sechs Jahren betragen die Mehrkosten je nach Referenzbelag für die OPA jährlich ca. 7.500 EUR bzw. 10.200 EUR (s. Abbildung 1), bei einer ausreichenden Lärmminderung über 10 Jahre sind beide Bauweisen hingegen kostenneutral, wenn man von einer Lärmminderung um 5 dB(A) ausgeht. Im Vergleich zu einem SMA mit 2 dB(A) Emissionsminderung ist eine OPA in diesem Szenario um ca. 2.600 EUR jährlich teuerer (s. Abbildung 2). Ist der Bau eines Lärm-

schutzwalles aufgrund fehlender Flächen nicht möglich, wie es im Bereich bebauter Gebiete häufig der Fall sein kann, so entstehen durch die Anordnung einer Lärmschutzwand erhebliche Mehrkosten gegenüber dem Einbau einer OPA. Diese betragen bei nur sechsjähriger Nutzungsdauer der Decke bereits knapp 30.000 EUR bzw. 21.400 EUR p.a. (s. Abbildung 3); bei zehnjähriger Nutzungsdauer der OPA sogar ca. 37.500 EUR bzw. 29.000 EUR p.a. (s. Abbildung 4).

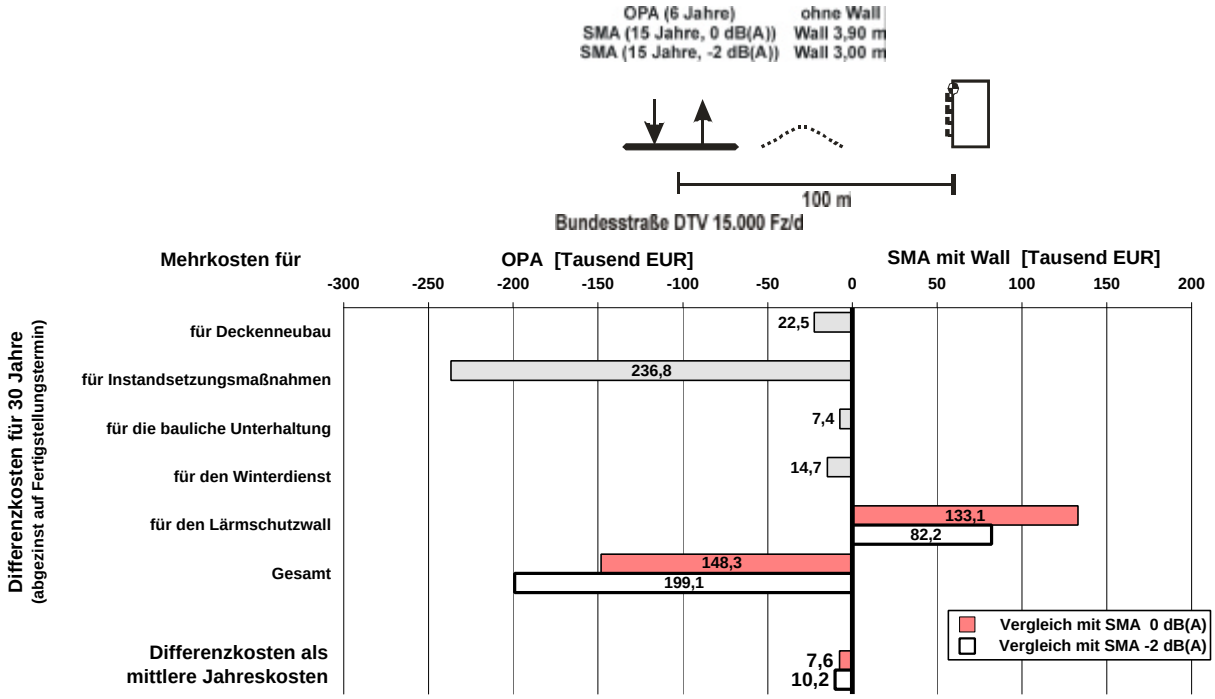

Abbildung 1: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 1a (Bundesstraße mit einseitigem Wall, Instandsetzung der OPA alle sechs Jahre)

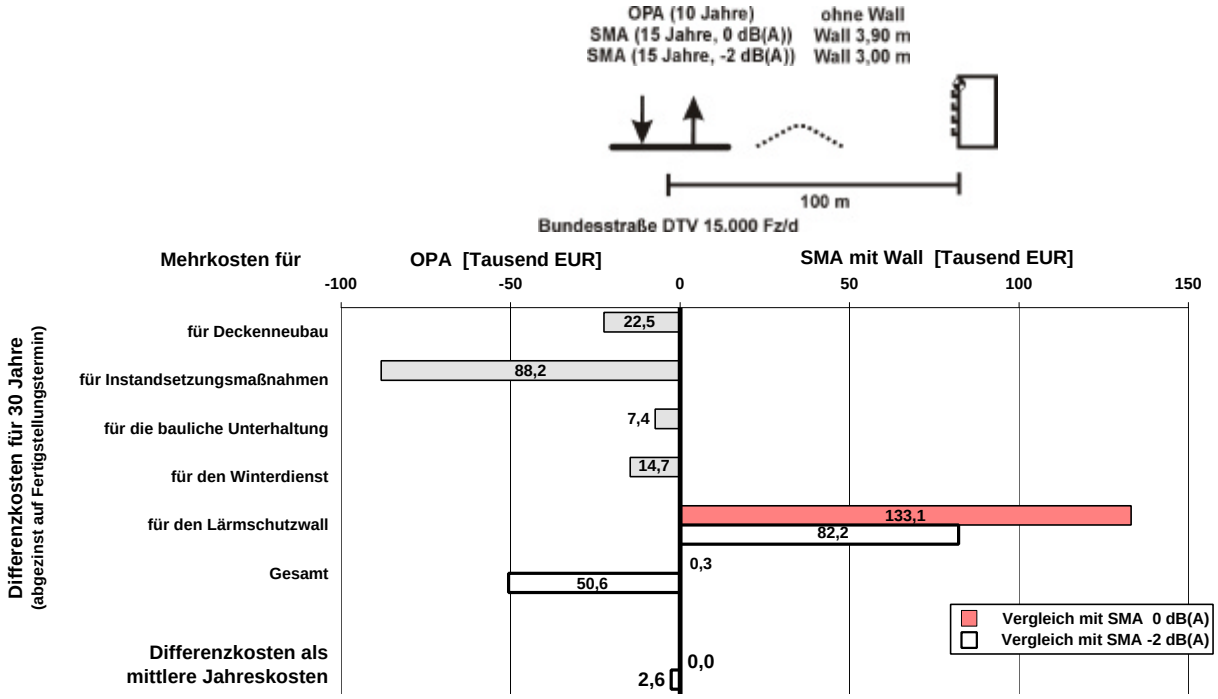

Abbildung 2: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 1b (Bundesstraße mit einseitigem Wall, Instandsetzung der OPA alle zehn Jahre)

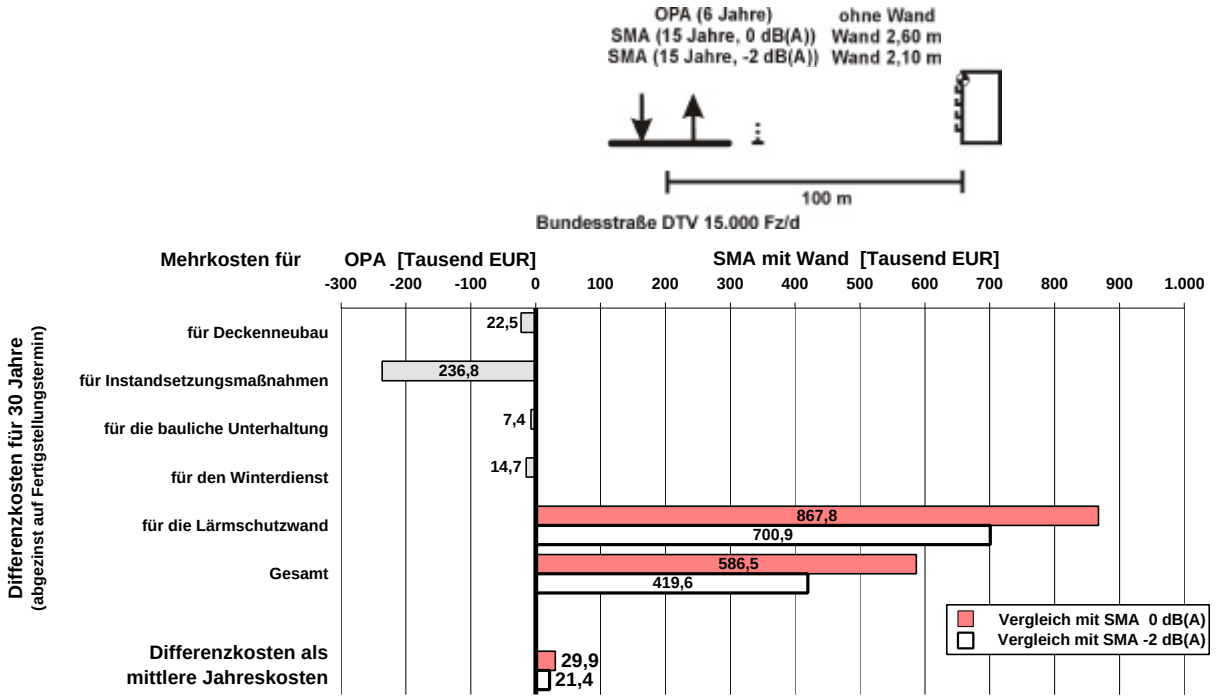

Abbildung 3: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 1c (Bundesstraße mit einseitiger Wand, Instandsetzung der OPA alle sechs Jahre)

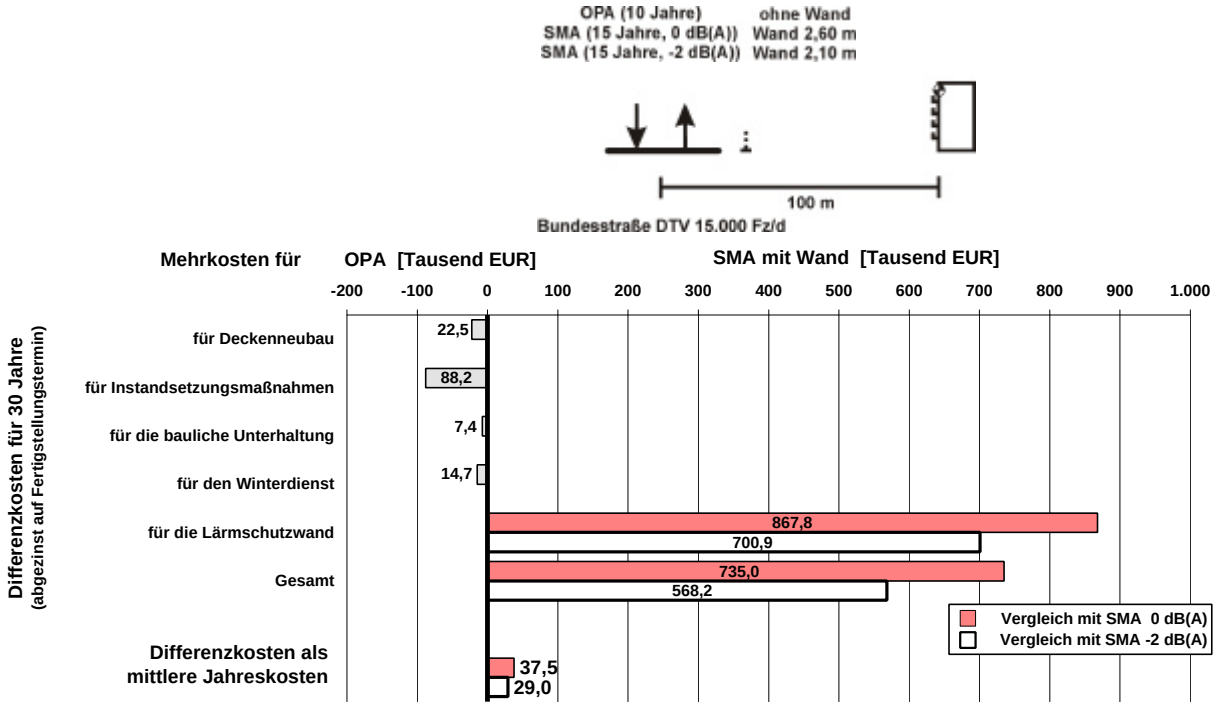

Abbildung 4: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 1d (Bundesstraße mit einseitiger Wand, Instandsetzung der OPA alle zehn Jahre)

3.2 Szenario 2: Bundesstraße mit einseitiger Bebauung im Abstand 20 m

In Szenario 2 wird der Bebauungsabstand zur Straßenachse auf 20 m reduziert. Ansonsten werden die Annahmen von Szenario 1 übernommen. Bei diesem geringen Bebauungsabstand ist kein ausreichender Platz für einen Lärmschutzwall, so dass eine Lärmschutzwand notwendig wird. Es wird davon ausgegangen, dass diese transparent ausgeführt wird.

Die lärmmindernde Wirkung einer OPA ist bei dem geringen Bebauungsabstand nicht ausreichend, so dass durch ihren Einsatz nur die Höhe der Lärmschutzwand reduziert werden kann. Zur Einhaltung der IGW ist bei einem SMA ohne Lärmminderung eine Lärmschutzwand von 8,20 m Höhe, bei einem SMA_{-2} von 7,10 m Höhe notwendig. Bei Einbau einer OPA kann ihre Höhe auf 6,00 m reduziert werden.

Die Baukosten für die 8,20 m hohe transparente Lärmschutzwand betragen ca. 3,6 Mio EUR je Kilometer. Für eine transparente Lärmschutzwand von 7,10 m Höhe belaufen sich die Baukosten auf 3,2 Mio EUR. Durch den Einbau der OPA und die damit verbundene Reduktion der Bauhöhe können die Kosten für die Lärmschutzwand auf 2,7 Mio EUR reduziert werden. Bei

diesem linearen Kostenansatz bleiben einerseits überproportionale Baukosten für sehr hohe Wände und andererseits die einmalig anfallenden Kosten für Planung, Grunderwerb etc. unberücksichtigt, doch ist davon auszugehen, dass sich diese in etwa ausgleichen.

Die weiteren Kosten sind mit denen in Szenario 1 vergleichbar. Aufgrund der erheblichen Kosteneinsparungen bei der Lärmschutzwand ist mit einem Gesamtnutzen innerhalb von 30 Jahren von ca. 1 Mio EUR bzw. 0,4 Mio EUR für den Straßenbaulastträger zu rechnen; dies entspricht bei einer Diskontierung von 3 % einem jährlichen Nutzen von ca. 52.000 EUR bzw. 19.000 EUR (s. Abbildung 5). Auch wenn man als Material für die Lärmschutzwand nicht transparente Baustoffe verwenden würde und sich damit die Baukosten für die Lärmschutzwand reduzieren würden, läge die Kosteneinsparung durch die Reduktion der Bauhöhe bei Verwendung einer OPA immer noch bei ca. 23.000 EUR bzw. 4.000 EUR p.a.

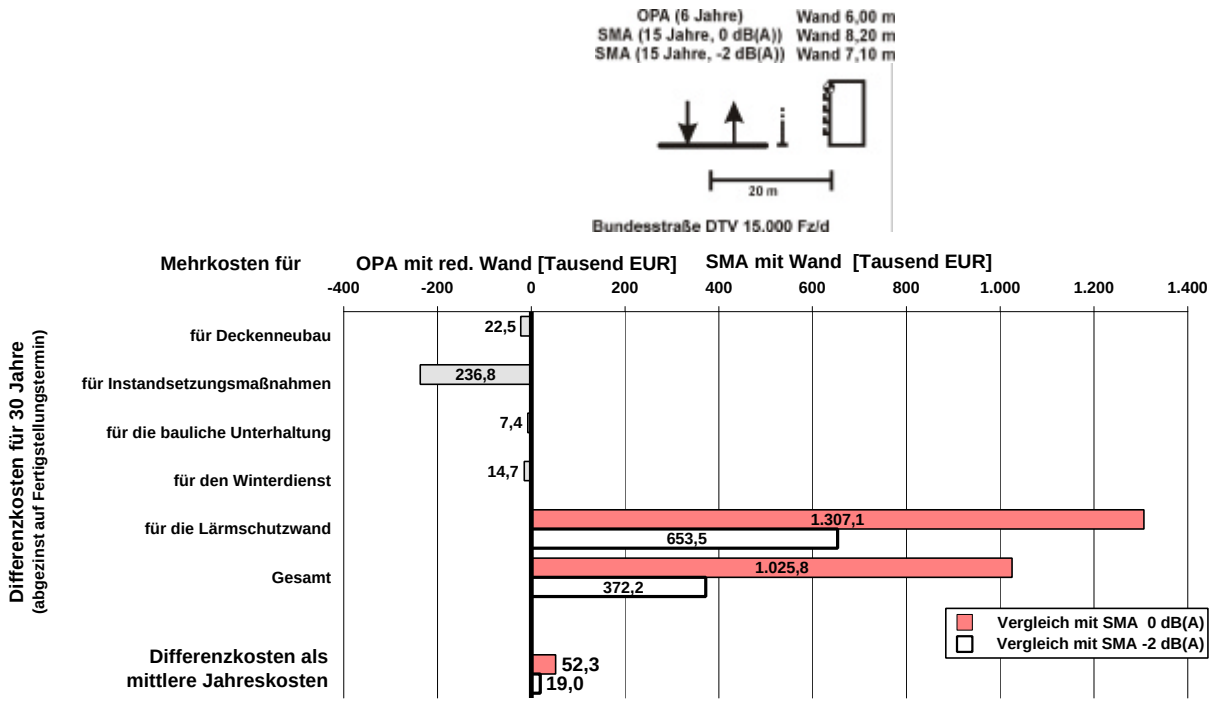

Abbildung 5: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 2 (Bundesstraße mit einseitiger transparenter Wand und dichter Bebauung)

3.3 Szenario 3: Bundesstraße mit zweiseitiger Bebauung im Abstand 100 m

In einem weiteren Szenario wird der Einsatz von OPA bei zweiseitiger Bebauung untersucht, die im Abstand von je 100 m zur Fahrbahnachse angeordnet ist. Die weiteren Parameter entsprechen

denen der Szenarien 1 bzw. 2. Bei zweiseitiger Bebauung werden zur Fahrbahnseite hin absorbierende Lärmschutzwände angeordnet, so dass Mehrfachreflexionen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Zusatzkosten für die Absorption bleiben jedoch unberücksichtigt, da hierfür keine ausreichende Zahlengrundlage zur Verfügung steht.

Bei dem vorgesehenen Bebauungsabstand von 100 m ist es möglich, durch den Einsatz einer OPA auf weitere Lärmschirme zu verzichten. Alternativ werden Lärmschutzwände in einer Höhe von je 2,60 m oder Lärmschutzwälle in einer Höhe von 3,80 m notwendig. Bei Einbau einer SMA_{-2} müssten die Wände 2,10 m und die Wälle 2,90 m hoch sein.

Die Abbildungen 6 und 7 enthalten die Ergebnisse für beidseitig angeordnete Lärmschutzwände und -wälle. Der Bau von Lärmschutzwällen auf zwei Seiten ist unter normalen Bedingungen im Vergleich mit einem SMA_0 nahezu kostenneutral mit dem Einsatz einer OPA. Dies jedoch nur dann, wenn die lärmmindernde Wirkung nach sechs Jahren so weit abgenommen hat, dass die Decke aus lärmtechnischen Gründen erneuert werden muss (s. Abbildung 6). Würde man eine längere lärmmindernde Wirkung, z.B. von 10 Jahren erreichen, so wären durch die OPA Kostenvorteile von ca. 6.600 EUR p.a. zu erwarten. Im Vergleich mit einem SMA_{-2} sind bei sechsjähriger Nutzungsdauer für die OPA Mehrkosten von ca. 6.000 EUR p.a. zu erwarten (s. Abbildung 6). Diese würden bei zehnjähriger Nutzungsdauer auf knapp 1.000 EUR p.a. reduziert.

Ist es nicht möglich, Lärmschutzwälle anzuordnen, so dass Lärmschutzwände gebaut werden müssen, ist der Nutzen des Einbaus einer OPA mit über 74.000 EUR bzw. 57.000 EUR p.a. erheblich (s. Abbildung 7). Es wird deutlich, dass bei zweiseitig zu schützender Bebauung der Einsatz von OPA eine wirtschaftliche Alternative sein kann. Vor allem, wenn kein ausreichender Platz für Lärmschutzwälle vorhanden ist und somit Lärmschutzwände notwendig werden, sind OPA langfristig kostengünstiger - dies sogar bei einer angesetzten lärmtechnischen Funktionsdauer von nur sechs Jahren.

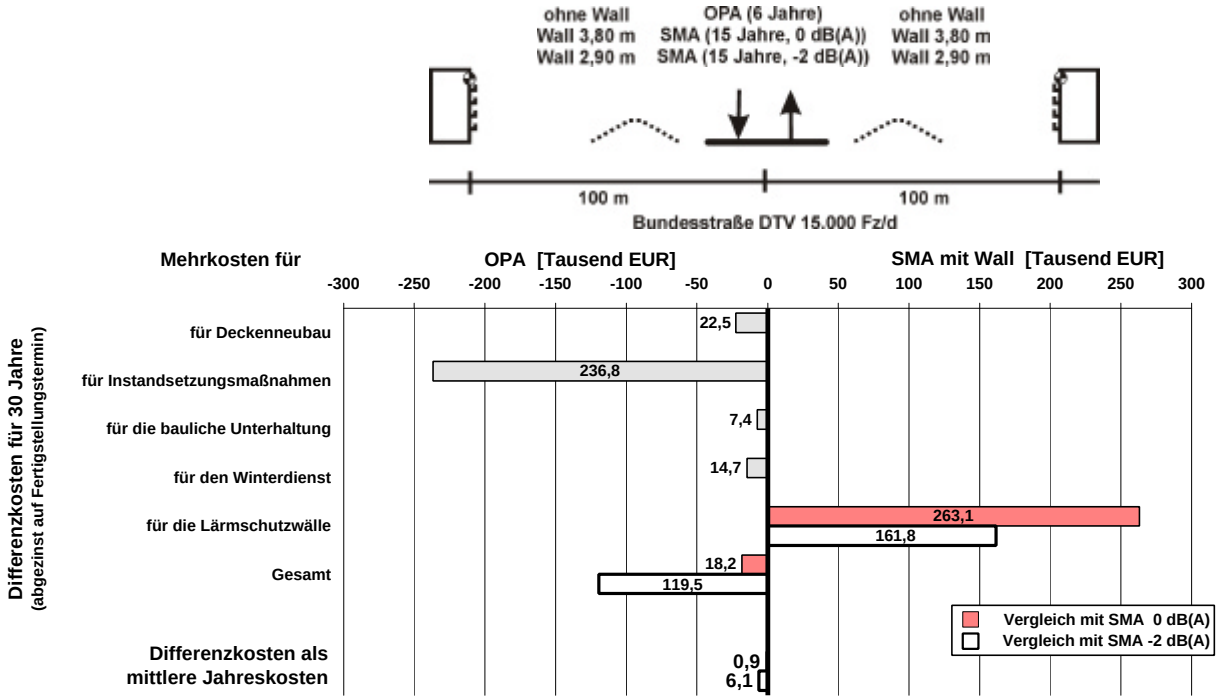

Abbildung 6: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 3a (Bundesstraße mit Wällen auf zwei Seiten)

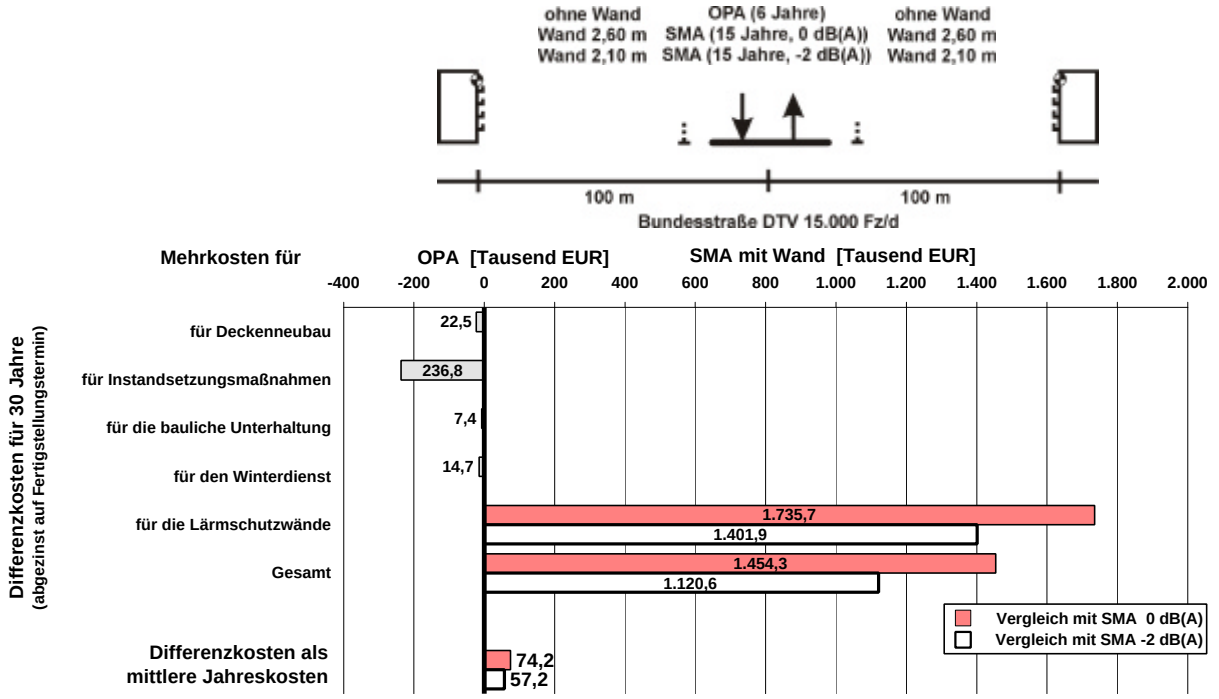

Abbildung 7: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 3b (Bundesstraße mit Wänden auf zwei Seiten)

3.4 Szenario 4: Vierstreifige Bundesautobahn mit einseitiger Bebauung im Abstand 200 m

Alternativ zu den vorhergehenden Szenarien wird in Szenario 4 der Einsatz einer OPA auf einer Bundesautobahn bewertet. Die Autobahn hat einen RQ 29,5 und einen DTV-Wert von 50.000 Kfz/24 h. Die Bebauung ist wiederum einseitig angeordnet; ihr Abstand zur Streckenachse beträgt 200 m.

Bei diesem Szenario ist es durch den Einsatz der OPA nicht möglich, die IGW für reine Wohngebiete einzuhalten. Daher kann ihr Einsatz nur zum Ziel haben, die Höhe von Lärmschutzwall oder -wand zu reduzieren. Bei Einsatz des Referenzbelages SMA_0 ist ein sehr hoher Lärmschutzwall von 12,50 m notwendig. Bildet man diesen mit Regelprofil aus, so wird ein Grundstückstreifen von 38,50 m Breite benötigt. Die Kosten für Grunderwerb und Bau des Lärmschutzwalles belaufen sich auf ca. 1,7 Mio EUR je Kilometer. Verwendet man einen SMA_{-2}, würde die Wallhöhe 9,70 m und die Breite am Fuß ca. 30 m betragen; die entsprechenden Kosten lägen bei ca. 1,1 Mio EUR. Bei Einbau einer OPA kann die Höhe des Walls auf 6,00 m und die benötigte Breite auf 19 m reduziert werden. Die Kosten für diesen Wall belaufen sich auf ca. 440.000 EUR und betragen somit nur noch gut ein Viertel der Kosten gegenüber dem Wall mit 12,50 m Höhe. Unter Berücksichtigung des Restwertes am Ende des Untersuchungszeitraums können die Kosten für den Lärmschutzwall um 0,9 Mio EUR bzw. 0,4 Mio EUR reduziert werden. Dem gegenüber stehen jedoch zusätzliche Baukosten für die OPA in Höhe von 69.000 EUR sowie Kosten für zusätzliche und aufwendigere Instandsetzungsmaßnahmen in Höhe von 568.000 EUR über 30 Jahre (diskontiert auf den Bezugszeitpunkt). Die zusätzlichen Aufwendungen für die Bauliche Unterhaltung und den Winterdienst fallen wie bei der Bundesstraße kaum ins Gewicht. In diesem Szenario ergibt sich auch bei nur einseitig notwendigem Lärmschutz und gering angesetzter Funktionsdauer für den OPA ein Kostenvorteil von ca. 10.000 EUR p.a. im Vergleich mit einem SMA_0. Berücksichtigt man als Alternative einen SMA_{-2}, ist der OPA nicht wirtschaftlicher, seine Mehrkosten liegen dann bei ca. 14.000 EUR p.a. (s. Abbildung 8).

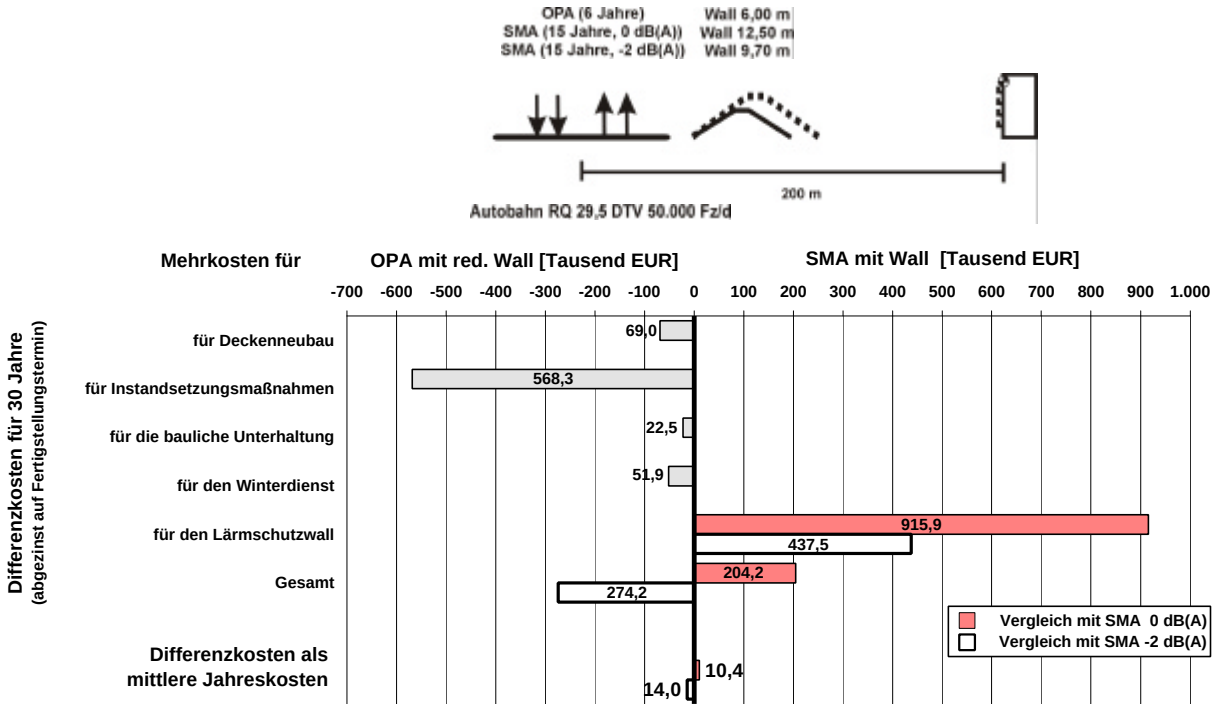

Abbildung 8: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 4a (vierstreifige Autobahn mit einseitigem Wall)

Alternativ zum Wall wird auch der Bau einer Lärmschutzwand bewertet. Diese kann erheblich niedriger ausfallen, da die Beugungskante näher an der Fahrbahnachse bzw. dem Emissionsort liegt. Notwendig ist eine Lärmschutzwand von 7,60 m (SMA_0) bzw. 6,30 m (SMA_{-2}) Höhe. Sie kann auf 4,40 m reduziert werden, wenn zusätzlich eine lärmmindernde OPA zum Ansatz kommt. Die Gesamtkosten für die 7,60 m hohe Wand werden mit 2,54 Mio EUR, für die 6,30 m hohe Wand mit 2,10 Mio EUR und für die 4,40 m hohe Wand mit 1,47 Mio EUR kalkuliert. Dieser Kostensenkung von 1,1 Mio EUR bzw. 0,6 Mio EUR stehen die zusätzlichen Kosten der OPA gegenüber. Insgesamt betragen die Einsparungen über 30 Jahre ca. 356.000 EUR bzw. ca. 78.000 EUR (s. Abbildung 9). Dies entspricht jährlichen Einsparungen von 18.000 EUR bzw. 4.000 EUR.

Aus Szenario 4 wird deutlich, dass der Einsatz von OPA auch dann wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen kann, wenn zwar ausreichend Platz für einen Lärmschutzwall vorhanden ist, dieser jedoch sehr hoch (über 10 m) für einen ausreichenden Lärmschutz sein muss. Weiterhin lässt sich erkennen, dass auch im Autobahnbereich eine OPA wirtschaftlich sein kann, wenn dadurch die Bauhöhe einer Lärmschutzwand gesenkt werden kann.

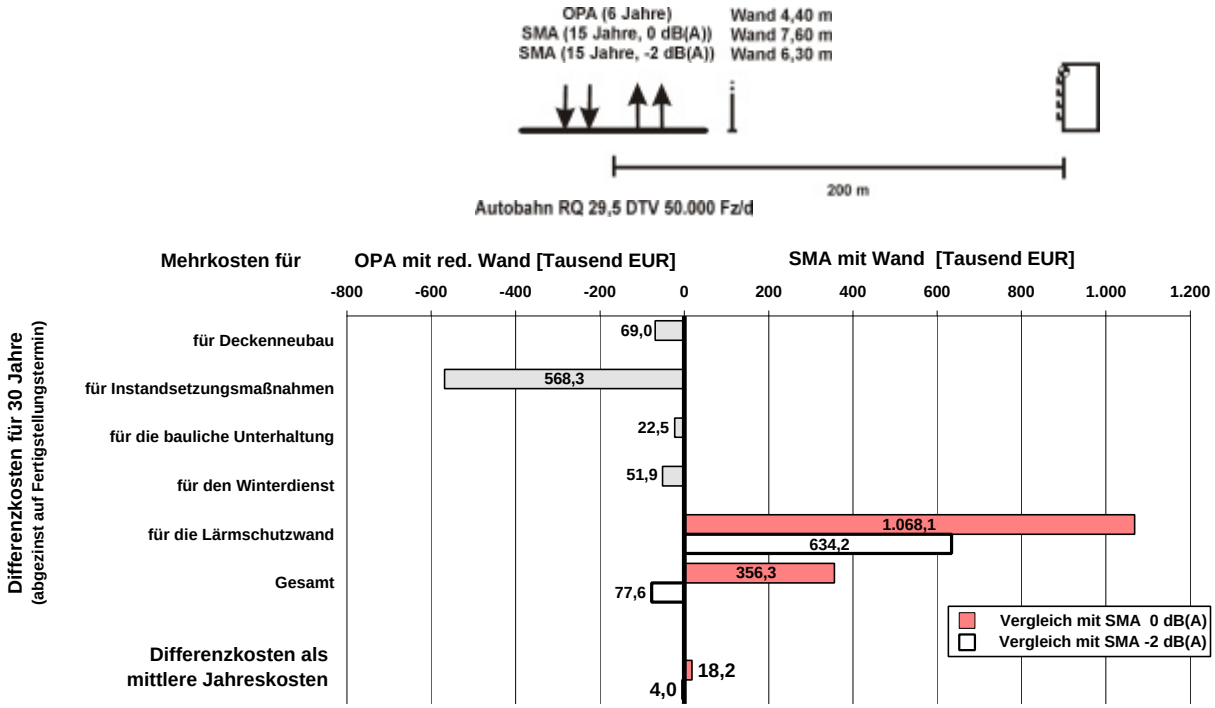

Abbildung 9: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 4b (vierstreifige Autobahn mit einseitiger Wand)

3.5 Szenario 5: Vierstreifige Bundesautobahn mit zweiseitiger Bebauung im Abstand 200 m

Analog zu Szenario 4 wird in Szenario 5 der Einsatz einer OPA auf einer Bundesautobahn bei zweiseitiger Bebauung analysiert. Hierbei wird wiederum der Einsatz einer OPA zur Reduktion eines Lärmschutzwalles (Szenario 5a) und zur Reduktion einer Lärmschutzwand (Szenario 5b) betrachtet. Die weiteren Parameter des Szenarios sind mit Szenario 4 identisch.

Ebenso wie bei Variante 4 kann durch den Einsatz der OPA die Höhe von Lärmschutzwall und -wand erheblich reduziert werden. Die Höhen der Lärmschutzwälle unterscheiden sich nicht von denen in Variante 4, da keine relevanten Reflexionen an den zweiseitig angeordneten Wällen auftreten. Somit verdoppelt sich bei zweiseitiger Bebauung die Einsparung durch die Reduktion des Lärmschutzwalls, während keine weiteren Kosten für Bau, Instandsetzung und Unterhaltung der OPA anfallen. Hierdurch werden die Gesamtkosten über 30 Jahre um über 1,1 Mio EUR gesenkt, was einem jährlichen Potential von knapp 59.000 EUR entspricht. Auch im Vergleich mit einem SMA_{-2} hat die Reduktion der Lärmschutzwälle Kostenvorteile: Der Gesamtnutzen

liegt bei knapp 200.000 EUR, entsprechend der jährlichen Nutzen bei ca. 10.000 EUR (s. Abbildung 10).

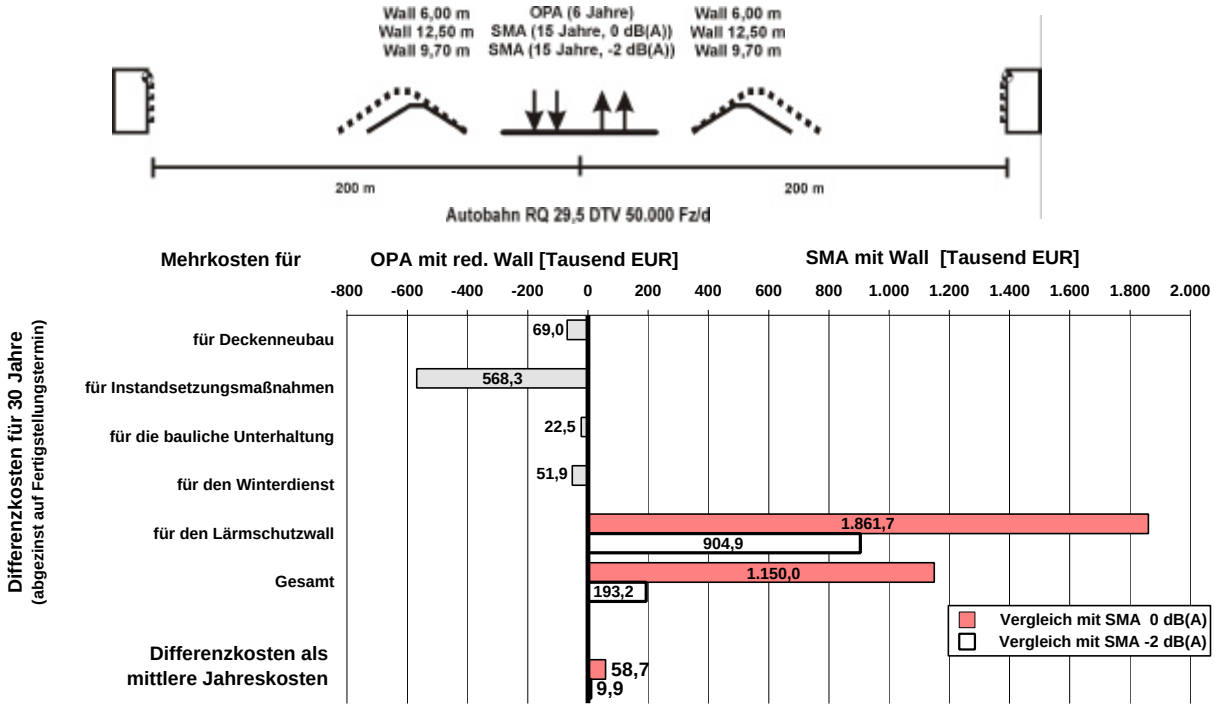

Abbildung 10: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 5a (vierstreifige Autobahn mit Wällen auf zwei Seiten)

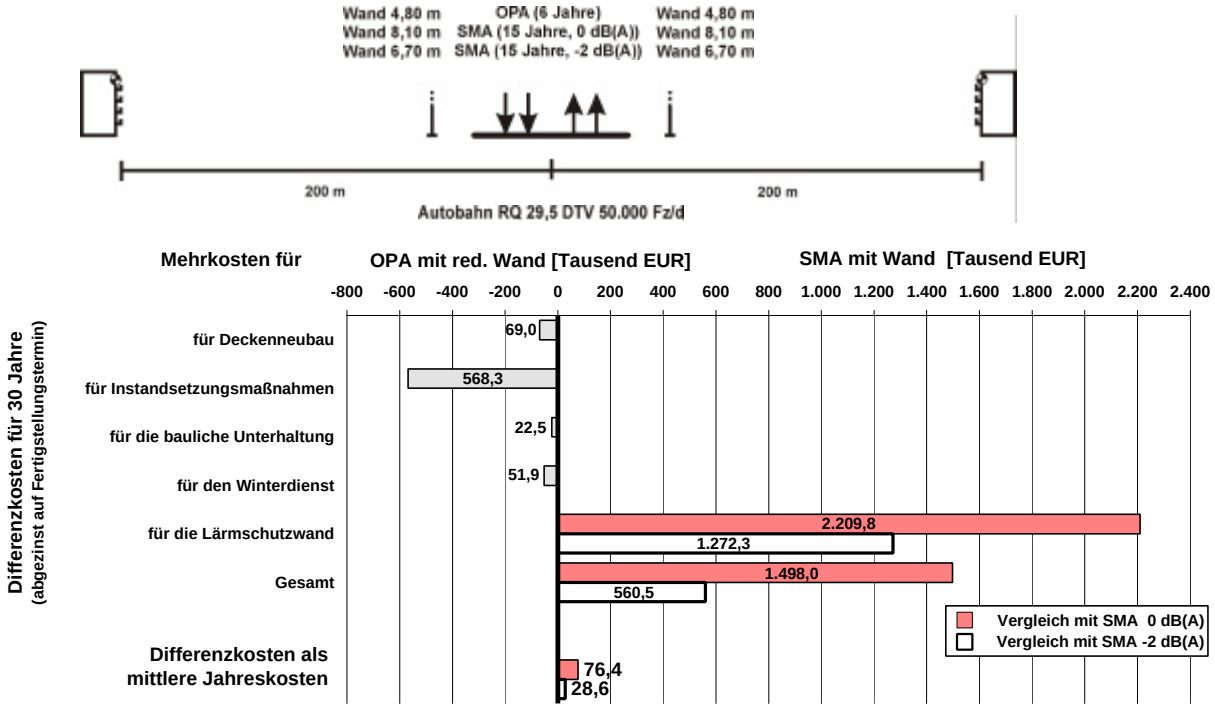

Abbildung 11: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 5b (vierstreifige Autobahn mit Wänden auf zwei Seiten)

Werden anstatt Wällen Lärmschutzwände (Szenario 5b) errichtet, so sind gegenüber der einseitigen Bebauung etwas größere Höhen notwendig, um den maßgebenden IGW von 49 dB(A) einzuhalten. Insgesamt verdoppeln sich die Einsparungen für die reduzierten Lärmschutzwände gegenüber der einseitigen Bebauung jedoch ebenfalls und betragen über 30 Jahre ca. 2,2 Mio EUR bzw. 1,2 Mio EUR. Unter Berücksichtigung der Mehrkosten für Bau, Instandsetzung und Unterhaltung beträgt der Kostenvorteil der OPA mit reduzierten Lärmschutzwänden über 30 Jahre ca. 1,5 Mio EUR (0,6 Mio EUR) bzw. ca. 76.000 EUR (29.000 EUR) pro Jahr (s. Abbildung 11).

Aus den Ergebnissen von Szenario 5 wird deutlich, dass die wirtschaftlichen Vorteile der OPA bei zweiseitig zu schützender Bebauung überproportional ansteigen, da sich gegenüber der einseitigen Bebauung die Einsparungen für Wälle und Wände in etwa verdoppeln, gleichzeitig aber keine weiteren Mehrkosten für die OPA auftreten.

3.6 Szenario 6: Sechsstreifige Bundesautobahn mit einseitiger Bebauung im Abstand 200 m

In einem weiteren Szenario werden die wirtschaftlichen Auswirkungen des Einbaus einer OPA bei einer hochbelasteten, sechsstreifigen Autobahn untersucht. Dem Szenario wird eine Autobahn mit RQ 35,5 und einer Verkehrsbelastung von 100.000 Fz/24 h zugrunde gelegt. Lkw-Anteil und Stundenbelastungen werden wie bei den anderen Szenarien mit den Regelwerten gemäß RLS-90 angesetzt. Aus Gründen der direkten Vergleichbarkeit mit dem Szenario 4 wird ebenfalls eine einseitige Bebauung im Abstand von 200 m angeordnet.

Soll in diesem Szenario der Lärmschutz durch einen Wall mit Regelabmessungen realisiert werden, so ist bei einem SMA_0 eine Wallhöhe von über 20 m, bei einem SMA_{-2} von 16 m notwendig. Diese kann durch den Einsatz einer OPA auf eine Höhe von 10,60 m erheblich reduziert werden. Somit kann die bei Regelquerneigung notwendige Breite am Dammfuß von 61 m bzw. 49 m auf 31 m reduziert werden, das Dammvolumen und damit die Baukosten werden um 72 % bzw. 55 % gesenkt. Diese Berechnungsergebnisse lassen erkennen, dass bei hochbelasteten Autobahnen mit eng angrenzender Bebauung OPA eine Möglichkeit sind, Lärmschutzwälle soweit zu reduzieren, dass sie auch unter technischen und landschaftsgestalterischen Aspekten eine Alternative sind. Auch wenn man dies unberücksichtigt lässt, sind durch den Einsatz der OPA für den Straßenbaulastträger rechnerische Kostenvorteile vorhanden. Die Kosten für den Lärm-

schutzwall werden um über 2,3 Mio EUR bzw. knapp 1,1 Mio EUR gesenkt, so dass über 30 Jahre im Vergleich zu einem SMA_0 Einsparungen von insgesamt ca. 1.4 Mio EUR durch den Einsatz der OPA anfallen. Diese entsprechen einem jährlichen Nutzen von ca. 73.000 EUR (s. Abbildung 12). Im Vergleich zu einem SMA_{-2} sind diese Einsparungen erheblich geringer; sie liegen über 30 Jahre bei 175.000 EUR bzw. 9.000 EUR jährlich.

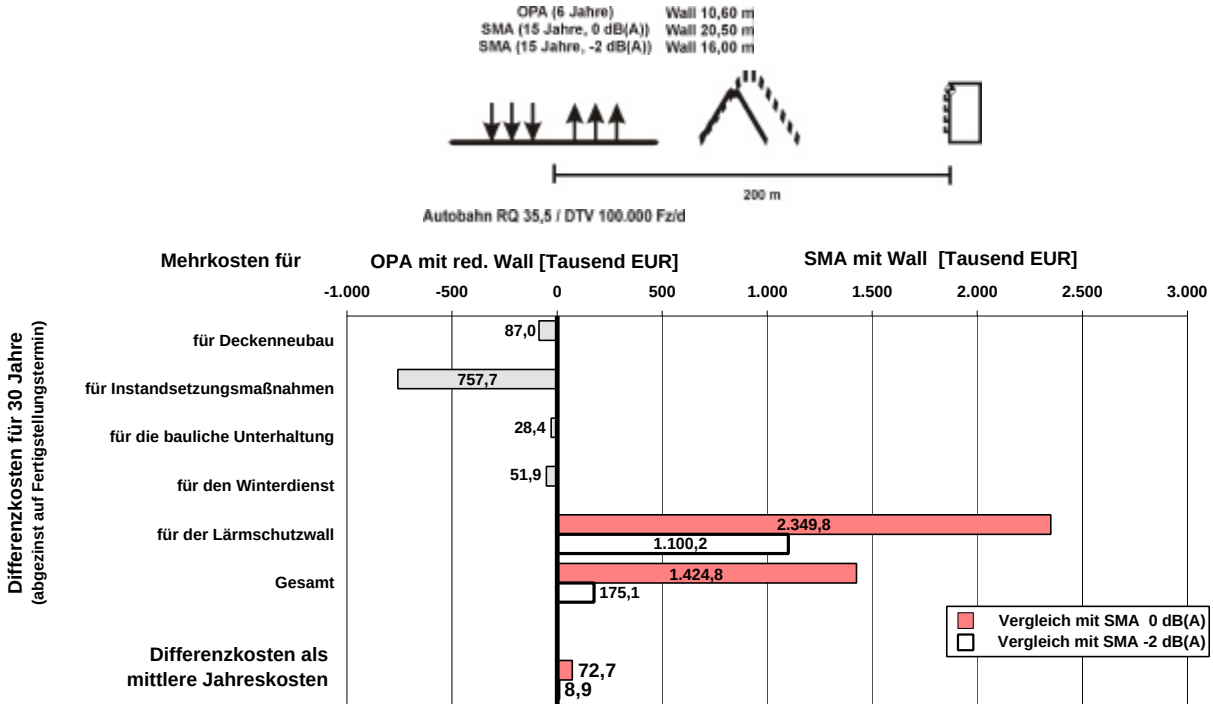

Abbildung 12: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 6a (sechsstreifige Autobahn mit einseitigem Wall)

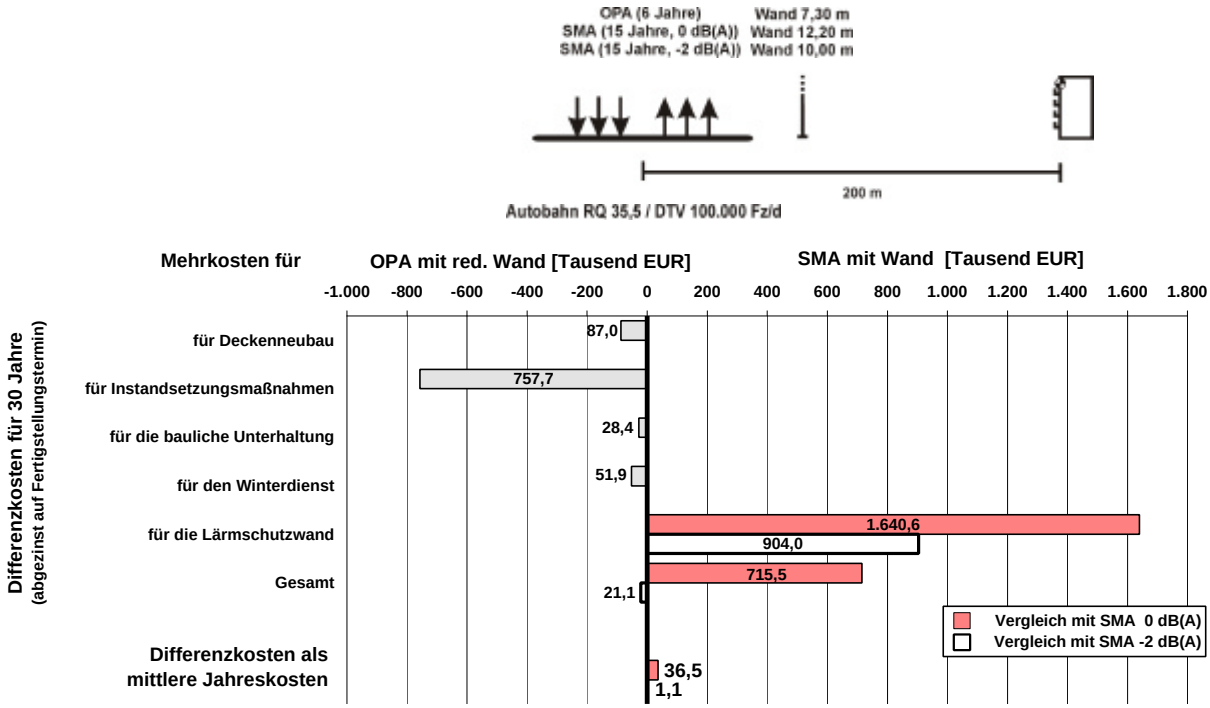

Abbildung 13: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 6b (sechsstreifige Autobahn mit einseitiger Wand)

Wenn für den Lärmschutz Wände anstatt Wälle zum Einsatz kommen, so ist auch hierbei eine erhebliche Senkung der notwendigen Bauhöhe möglich: Bei der Variante ohne lärmmindernde OPA beträgt die notwendige Wandhöhe 12,20 m bzw. 10,00 m, während sie durch den Einsatz einer OPA um 40 % bzw. 27 % auf 7,30 m reduziert werden kann. Dies hat im Vergleich zu einem SMA_0 Einsparungen für die Wand in Höhe von 1,6 Mio EUR zur Folge, die weitaus höher als die Mehrkosten für die OPA auf den beiden Richtungsfahrbahnen sind. Somit ergibt sich in diesem Vergleich eine Gesamteinsparung von ca. 720.000 EUR über 30 Jahre bzw. von 36.500 EUR pro Jahr. Vergleicht man die OPA mit einem SMA_{-2}, so reduzieren sich die Einsparungen für die Lärmschutzwand auf 0,9 Mio EUR, die die Mehrkosten für die OPA nicht ganz kompensieren können. Somit ergeben sich rechnerisch Mehrkosten von 21.000 EUR über 30 Jahre bzw. 1.000 EUR p.a., was jedoch mit 2 % der betrachteten Teilkosten vernachlässigbar ist (s. Abbildung 13).

Zusammenfassend wird deutlich, dass bei einer hochbelasteten Autobahn und einem Bebauungsabstand von 200 m die Errichtung eines konventionellen Lärmschutzwalls aufgrund seiner großen Höhe in der Praxis kaum realisiert wird. In diesem Szenario sind entweder Lärmschutzwände notwendig, oder die Fahrbahn wird mit einer OPA ausgerüstet, durch die die Höhe des

Lärmschutzwalls reduziert werden kann. Aufgrund der hohen Kosten für die Lärmschutzwände ist dieser Variante aus wirtschaftlichen Gründen gegenüber dem Bau einer Lärmschutzwand mit OPA der Vorzug zu geben, wenn ausreichende Flächen und einzubauende Materialien zur Verfügung stehen. Die Kombination aus reduzierter Wandhöhe und verringerter Lärmemission bei einem SMA_{-2} ist dieser Variante gleichzusetzen, wenn für die OPA nur eine sechsjährige Nutzungsdauer berücksichtigt wird. Bei längerer Liegedauer der OPA sind mit ihren Einbau Kostenvorteile verbunden.

3.7 Szenario 7: Sechsstreifige Bundesautobahn mit zweiseitiger Bebauung im Abstand 200 m

In Szenario 7 wird für die hochbelastete, sechsstreifige Autobahn der Einsatz von OPA bei zweiseitiger Bebauung bewertet. Wie bei der vierstreifigen Autobahn (Szenario 4 und 5) verdoppeln sich die Kosten für die zweiseitig angeordneten Wälle und Wände, während die Mehrkosten für Bau, Instandsetzung und Unterhaltung der OPA konstant bleiben. Hierdurch werden die Einsparungen, die bei Einsatz einer OPA und reduzierten Wall- oder Wandhöhen möglich sind, überproportional gesteigert. Bei Lärmschutzwällen (Szenario 7a) sinken die Kosten insgesamt über 30 Jahre um ca. 3,8 Mio EUR bzw. 1,3 Mio EUR jährlich, was einem jährlichen Nutzen von 190.000 EUR bzw. 65.000 EUR entspricht (s. Abbildung 14). Werden Lärmschutzwände gebaut, so sind Einsparungen von 2,4 Mio EUR oder 0,9 Mio EUR über 30 Jahre bzw. 122.000 EUR oder 45.000 EUR jährlich möglich (s. Abbildung 15).

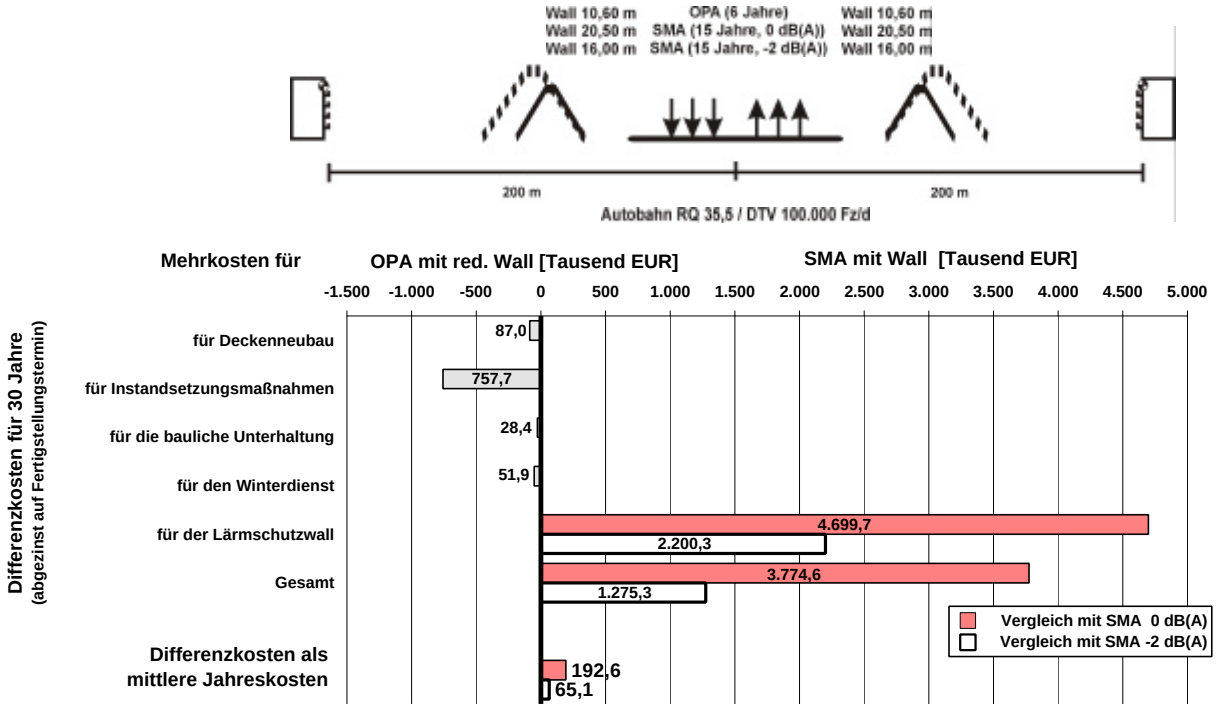

Abbildung 14: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 7a (sechsstreifige Autobahn mit Wällen auf zwei Seiten)

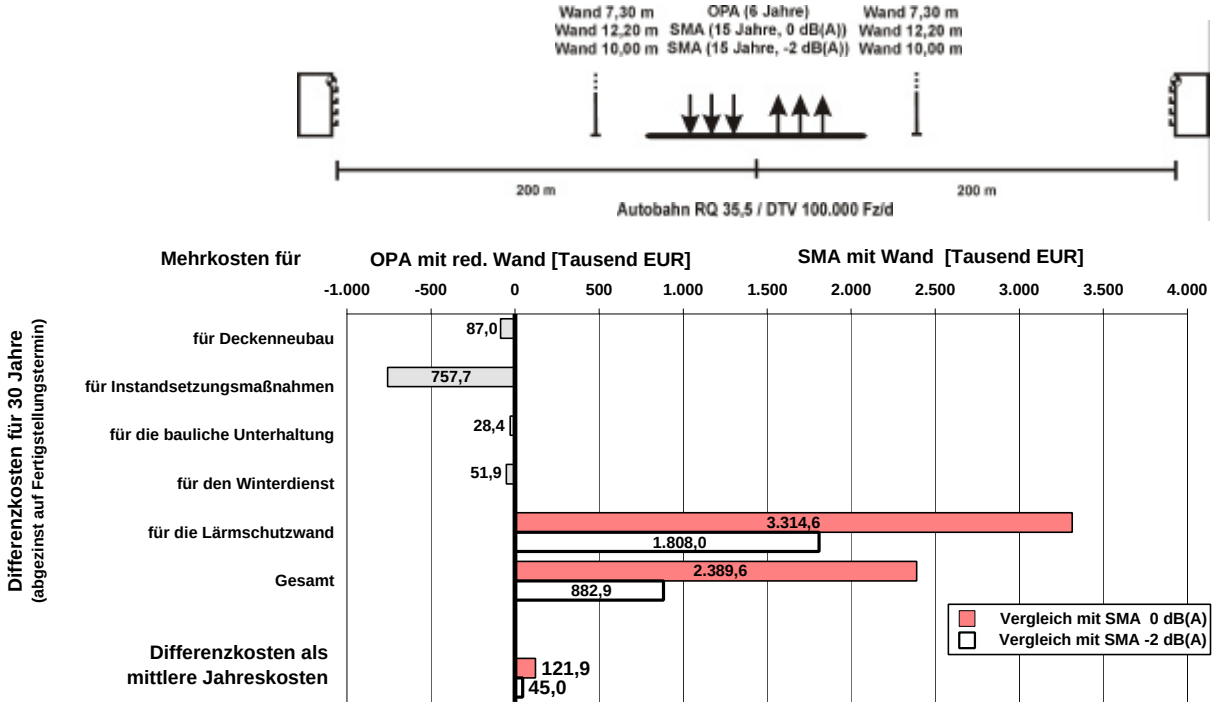

Abbildung 15: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 7b (sechsstreifige Autobahn mit Wänden auf zwei Seiten)

4. Zusammenfassende Empfehlungen zum Einsatz offenporiger Asphaltdeckschichten (OPA)

In den Abbildungen 16 und 17 sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zusammengestellt. An Bundesstraßen kann bei den betrachteten Szenarien (s. Abbildung 16) durch den Einsatz einer OPA i.d.R. auf Wand oder Wall verzichtet werden. Nur bei unmittelbar angrenzender Bebauung ist auch bei den OPA weiterhin eine Lärmschutzwand notwendig, die jedoch niedriger sein kann. Einsparungen durch den Einsatz von OPA können immer dann erzielt werden, wenn auf eine Lärmschutzwand verzichtet oder ihre Höhe erheblich reduziert werden kann. Im Vergleich zu Lärmschutzwällen, die bei geringen Höhen erheblich günstiger als Lärmschutzwände sind, sind für OPA auf Bundesstraßen in den betrachteten Szenarien jedoch keine Kostenvorteile vorhanden. Kostengünstigste Lösung ist in diesen Fällen i.d.R. der Einbau einer lärmoptimierten SMA, für die eine Reduktion der Lärmemission um -2 dB(A) berücksichtigt werden kann, in Kombination mit einem reduzierten Lärmschutzwall.

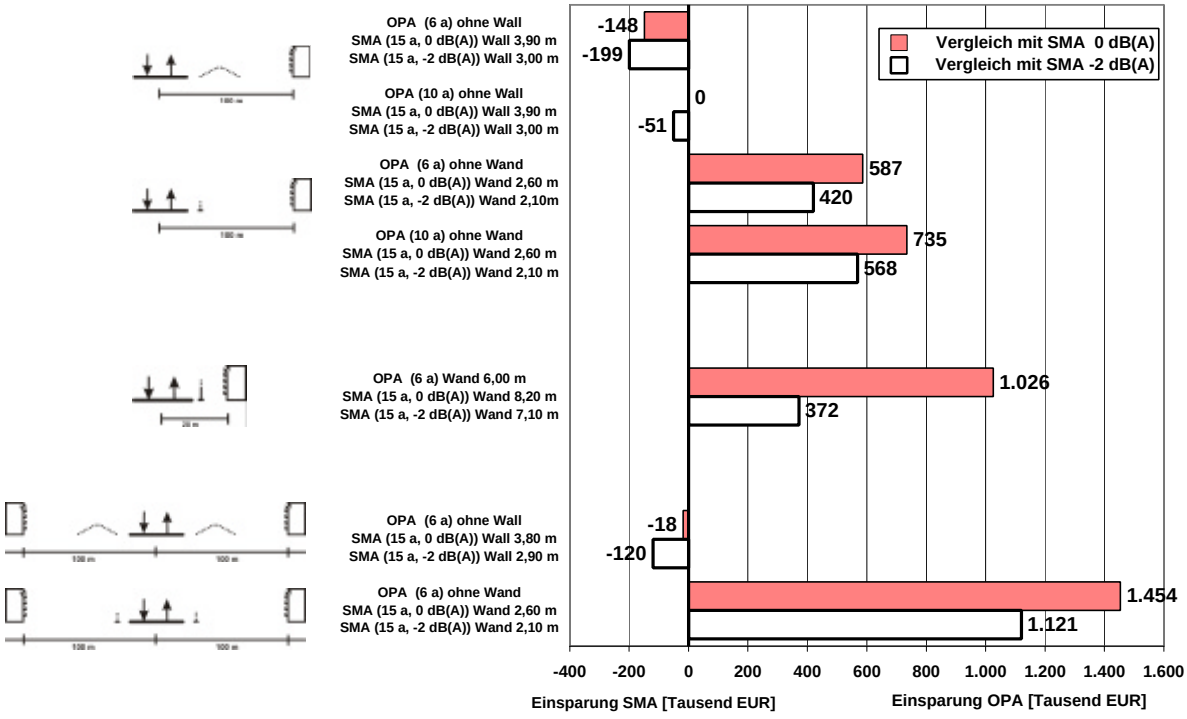

Abbildung 16: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Bundesstraßen (RQ 10,5 / DTV 15.000 Fz/d) - Differenzkosten für 30 Jahre (abgezinst auf den Fertigstellungstermin) je Streckenkilometer

Bei den Szenarien für Bundesautobahnen (s. Abbildung 17) kann durch den Einsatz von OPA nicht auf Lärmschutzwall oder -wand verzichtet werden; sie können nur in ihrer Höhe reduziert werden. Aufgrund der großen Höhen, die bei den zugrunde liegenden Bebauungsabständen von 200 m notwendig sind, führt jedoch allein diese Reduktion bereits zu so großen Kostensenkungen, dass mit den OPA erhebliche Kostenvorteile für den Straßenbaulastträger verbunden sind, wenn man als Referenzbelag einen SMA ohne Korrekturwert für die Lärmminderung betrachtet. Im Vergleich zu einem SMA_{-2} hingegen sind Bau-, Erhaltungs- und Unterhaltungskosten der OPA bei nur zehnjähriger Nutzungsdauer so viel höher, dass sie die Einsparungen für Wall oder Wand i.d.R. nicht kompensieren. Bei zweiseitiger Bebauung hingegen sind Kostenvorteile für die OPA zu erwarten, da den doppelten Einsparungen für Wall oder Wand keine weiteren Mehrkosten für die OPA gegenüber stehen.

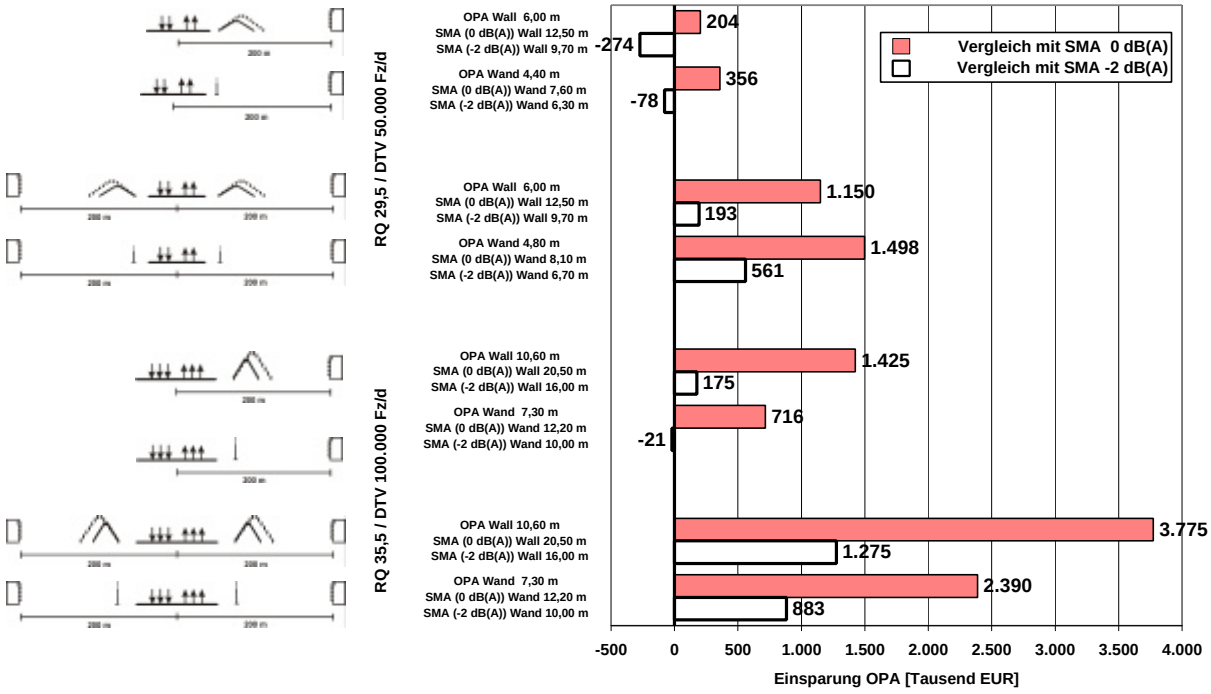

Abbildung 17: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Bundesautobahnen (RQ 29,5 und 35,5) - Differenzkosten für 30 Jahre (abgezinst auf den Fertigstellungstermin) je Streckenkilometer

Die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen lassen erkennen, dass der Einsatz von OPA als aktive Lärmschutzmaßnahme eine wirtschaftliche Alternative bzw. Ergänzung zu Lärmschutzwänden und -wällen sein kann, auch wenn man nur eine lärmtechnische Nutzungs-

dauer von sechs Jahren berücksichtigt. Wenn die Nachmessungen nach Ende dieser „garantierten“ Lärmminderungsdauer ergeben, dass die lärmmindernde Wirkung weiterhin gegeben ist, so verbessert sich die Wirtschaftlichkeit dieser Bauweise für den Straßenbaulastträger noch weiter. Die Kostenvergleiche mit einem SMA_{-2} lassen erkennen, dass vielfach in der Kombination aus lärmemissionsreduziertem Belag und reduzierten Wänden und Wällen ein wirtschaftliches Optimum zu erwarten ist.

Gegenüber dem Einsatz von Lärmschutzwänden werden i.d.R. klare wirtschaftliche Vorteile der OPA deutlich - auch wenn ansonsten ein geräuschreduziertes SMA_{-2} eingebaut wird. Somit können OPA immer dann sinnvoll sein, wenn für einen Lärmschutzwall kein Platz vorhanden ist oder dieser aus anderen Gründen nicht zweckmäßig ist, z.B. bei Straßen in Dammlage. Durch den Einsatz einer OPA konnte die Höhe der Lärmschutzwand in den berechneten Szenarien um 1 bis 5 m reduziert werden; diese Reduktion führt zu deutlichen Einsparungen. Weiterhin kann die Berücksichtigung von OPA zum Lärmschutz dann empfohlen werden, wenn sehr hohe Lärmschutzwälle notwendig werden, die aufgrund der hierfür notwendigen erheblichen Erdbewegungen ebenfalls mit großen Kosten verbunden sind. Hierbei ist es möglich, die Höhe des Walls und somit sein Volumen überproportional zu reduzieren.

Kostenvorteile sind bei einer OPA i.d.R. immer dann zu verzeichnen, wenn auf beiden Seiten der Straße Bebauung vorhanden ist, für die Lärmschutzmaßnahmen notwendig sind. In diesen Fällen macht sich der Umstand bezahlt, dass durch den Einbau einer OPA die Lärmemission der Straße direkt reduziert wird, was für das gesamte Straßenumfeld positiv ist, während Wall und Wand auf beiden Seiten der Straße angeordnet werden müssen.

Allerdings lassen die Szenarien auch die Grenzen der rein wirtschaftlichen Vorteile des Einsatzes von OPA für den Straßenbaulastträger erkennen: Immer dann, wenn ausreichend Platz für einen Lärmschutzwall vorhanden ist und er nicht höher 10 m ausgebildet werden muss, ist bei einseitiger Bebauung der Bau eines Erdwalls die kostengünstigere Lösung für den Straßenbaulastträger zur Einhaltung der IGW.

Neben den monetären Kriterien für den Straßenbaulastträger sollten bei der Entscheidung, OPA zu verwenden, auch weitere Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden, die nur schwer quantifizierbar bzw. monetär bewertbar sind: Hierzu zählen die Verkehrsbehinderungen durch zusätzliche Instandsetzungsmaßnahmen ebenso wie die Steigerung des Fahrkomforts durch reduzierte Sprühfahnen und die Vermeidung der Aquaplaning-Gefahr. Weiterhin ist zu

berücksichtigen, dass die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und die optische Trennwirkung durch Lärmschutzwall oder -wand - insbesondere bei großen Höhen - erheblich sein können, während der Einsatz einer OPA in dieser Hinsicht positiv zu bewerten ist.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen lassen erkennen, dass OPA durchaus eine wirtschaftliche Alternative zum aktiven Lärmschutz sein können - und dies auch bei nur geringer lärmtechnischer Nutzungsdauer. Es wird auch deutlich, dass keine pauschalen Aussagen möglich sind, ob eine OPA zur langfristigen Kostensenkung beiträgt. Hierfür sind die tatsächlichen Randbedingungen einer Planungsmaßnahme, d.h. Geländetopografie, Trassierung der Straße im Lage- und Höhenplan, Lage der Bebauung, Grunderwerbsverhältnisse, Verfügbarkeit der notwendigen Erdmassen etc. zu berücksichtigen und detaillierte Berechnungen zum notwendigen Lärmschutz durchzuführen. Weiterhin bestehen Kostensenkungspotentiale in der Optimierung der möglichen Lärmschutzmaßnahmen: Wall, Wand und OPA oder anderer geräuschreduzierter Beläge.

Aufgrund der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird empfohlen, OPA als eine Komponente bei der Optimierung des aktiven Lärmschutzes verstärkt zu berücksichtigen. Zweckmäßig erscheint auch die Analyse realer Planungsvorhaben, um die Einsatzbereiche von OPA zum Lärmschutz und somit ihren wirtschaftlichen Einsatz besser abgrenzen zu können. Mit Hilfe des vorliegenden Modells können diese einfach durchgeführt werden; hierbei können dann auch projektspezifische Kostensätze für den Bau der OPA, von Lärmschutzwall und -wand, die anzusetzenden Grunderwerbskosten sowie vorhandene Topografie und Bebauung Berücksichtigung finden.

Literaturverzeichnis

[1] RENKEN, P. / SCHÄFER, V.
Offenporige Asphaltdeckschichten - Forschungsergebnisse und aktuelle baupraktische Erfahrungen am Beispiel der BAB A 2 in Niedersachsen
in: Straße und Autobahn 50 (1999), Heft 1 und 2

[2] BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN
Statuspapier der Bundesanstalt für Straßenwesen vom 18. Oktober 2001 - Offenporige Asphaltdeckschichten (OPA)
Anlage zum Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 5/2002 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
veröffentlicht in: Verkehrsblatt 2002, Heft 8
Bonn 2002

[3] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN
Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 5/2002: Richtlinien für den Lärmschutz - RLS-90 - Fahrbahnoberflächen-Korrekturwerte D_{StrO} für offenporigen Asphalt (OPA)
veröffentlicht in: Verkehrsblatt 2002, Heft 8
Bonn 2002

[4] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN
Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS)
Köln 1997

[5] ROOS, RALF / KLEIN, ANDREAS / ZIMMERMANN, MATTHIAS / HOLLDORB, CHRISTIAN / KOB, STEFAN
Verlegung von Arbeiten der betrieblichen Straßenunterhaltung in die Nachtstunden
in: Straßenverkehrstechnik 45 (2001), Nr. 5, S. 222 - 231

[6] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN
Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes (VLärmSchR 97)
veröffentlicht in: Verkehrsblatt 1997, Heft 12
Bonn 1997

[7] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN
Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS)
Köln 1990

[8] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN
Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen (RPE-Stra 01)
Köln 2001

[9] HOLLDORB, CHRISTIAN
Beitrag zur Bewertung des Einsatzes offenporiger Asphaltdeckschichten auf Autobahnen
Darmstadt 1997

[10] FRECH
Erfahrung bei Bau und Unterhalt von offenporigen Asphaltdeckschichten
in: Informationstage „Geräuschmindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis“
Müller-BBM, Planegg b. München 2002

[11] SCHÄFER, V.
Erfahrungen mit Offenporigen Asphaltdeckschichten (OPA)
Vortrag Deutscher Straßen- und Verkehrskongress 2002, Vortragsunterlagen (unveröffentlicht)

[12] LARSSEN; LARS ELLEBJERG / BENDTSEN; HANS
Noise reduction with porous asphalt - costs and perceived effect
ISAP-Congress, August 2002, Copenhagen
Atkins Danmark A/S, Copenhagen 2002

[13] HOLLDORB, CHRISTIAN / ROOS, RALF
Reinigung offenporiger Asphaltdeckschichten
in: Straßenbetriebsdienst - Kolloquium am 17. und 18. Oktober 1995 in Darmstadt
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Köln 1996

[14] ROOS, RALF / HOLLDORB, CHRISTIAN
Erhaltung der Funktionen Lärmminderung und Entwässerung offenporiger Asphaltdecken
Schlussbericht zum FE-Vorhaben FE 03.237 R90L des Bundesministeriums für Verkehr (unveröffentlicht)
Durth Roos Consulting GmbH, Darmstadt 1997

[15] KUTTER, M.
Straßenunterhaltung und Betriebsdienst
in: Der Elsner 2003, Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen
Dieburg 2002

[16] DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR
Richtzeichnungen für Lärmschirme außerhalb von Kunstbauten - Ausgabe 1988 (RiZaK-88)
veröffentlicht in: Verkehrsblatt 1989, Heft 7
Bonn 1989

[17] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN
Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2001
Bonn 2002

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Seite

Abbildung 1: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 1a (Bundesstraße mit einseitigem Wall, Instandsetzung der OPA alle sechs Jahre) 12

Abbildung 2: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 1b (Bundesstraße mit einseitigem Wall, Instandsetzung der OPA alle zehn Jahre) 13

Abbildung 3: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 1c (Bundesstraße mit einseitiger Wand, Instandsetzung der OPA alle sechs Jahre) 13

Abbildung 4: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 1d (Bundesstraße mit einseitiger Wand, Instandsetzung der OPA alle zehn Jahre) 14

Abbildung 5: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 2 (Bundesstraße mit einseitiger transparenter Wand und dichter Bebauung) 15

Abbildung 6: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 3a (Bundesstraße mit Wällen auf zwei Seiten) 17

Abbildung 7: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 3b (Bundesstraße mit Wänden auf zwei Seiten) 17

Abbildung 8: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 4a (vierstreifige Autobahn mit einseitigem Wall) 19

Abbildung 9: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 4b (vierstreifige Autobahn mit einseitiger Wand) 20

Abbildung 10: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 5a (vierstreifige Autobahn mit Wällen auf zwei Seiten) 21

Abbildung 11: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 5b (vierstreifige Autobahn mit Wänden auf zwei Seiten) 21

Abbildung 12: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 6a (sechsstreifige Autobahn mit einseitigem Wall) 23

Abbildung 13: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 6b (sechsstreifige Autobahn mit einseitiger Wand) 24

Abbildung 14: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 7a (sechsstreifige Autobahn mit Wällen auf zwei Seiten) 26

Abbildung 15: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Szenario 7b (sechsstreifige Autobahn mit Wänden auf zwei Seiten) 26

Abbildung 16: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Bundesstraßen (RQ 10,5 / DTV 15.000 Fz/d) - Differenzkosten für 30 Jahre (abgezinst auf den Fertigstellungstermin) je Streckenkilometer 27

Abbildung 17: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Bundesautobahnen (RQ 29,5 und 35,5) - Differenzkosten für 30 Jahre (abgezinst auf den Fertigstellungstermin) je Streckenkilometer 28

Tabelle 1: Bemessungsparameter für Bau und Instandsetzung von OPA und SMA 7