

Verminderung von Bahnlärm – Möglichkeiten und Realisierungschancen

Modell zur Berechnung der volkswirtschaftlich optimalen  
Kombination von Lärmschutzmaßnahmen am Schienenweg

# Vortrag

Wuppertal, den 14. April 2016

Bezirksvereinigung Berg&Mark

Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V. (DVWG)

# Agenda

Einführung und Motivation

Aktuelle/bisherige Vorgehensweise

Entwicklung eines neuen Modells zur Berechnung der volkswirtschaftlich optimalen Kombination von Lärmschutzmaßnahmen

Maßnahmen und Anforderungen

Immissionswerte

Akzeptanzbewertung

Erwartungswert für Laufzeitverlängerung bei Planfeststellungsverfahren

Berechnungs-Modell anhand eines Prozessdiagramms

Zusammenfassung und weitere Themenfelder

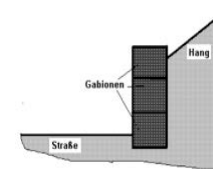
## Aktuelle/bisherige Vorgehensweise

Das bisherige Verfahren zum Lärm- und Erschütterungsschutz beim Neu- und Ausbau am Fahrweg wird in vier Stufen durchgeführt (rechtliche Grundlage bildet das BImSchG in Verbindung mit der 16. BImSchV):

1. Trassierung außerhalb von ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienenden Gebiete



2. Einsatz aktiver Lärmschutzmaßnahmen (§ 41 BImSchG)



3. Realisierung von passiven Maßnahmen (§ 42 BImSchG)



4. Zahlung von finanziellen Entschädigungen (§ 74 Abs. 2 S. 3 VwVfG i.V.m. § 42 Abs. 2 S. 2 BImSchG)



Immissionsgrenzwert bei reinen Wohngebieten nachts (22 - 6 Uhr) beträgt 49 dB(A).

$$\text{Mittelungspegel Nachts in dB(A)} : L_{r,N} = L_{m,N}^{(25)} + DFZ + DI_{,v} + DFb + DsL + DBM + DB + S$$

Nachteile: Kein Aufschluss über Zeitablauf, keine Aussage über Lärmspitzen und zu Ereignishäufigkeiten

# Grafische Übersicht über die Maßnahmen zur Lärminderung

## Aktive und passive Schallschutzmaßnahmen

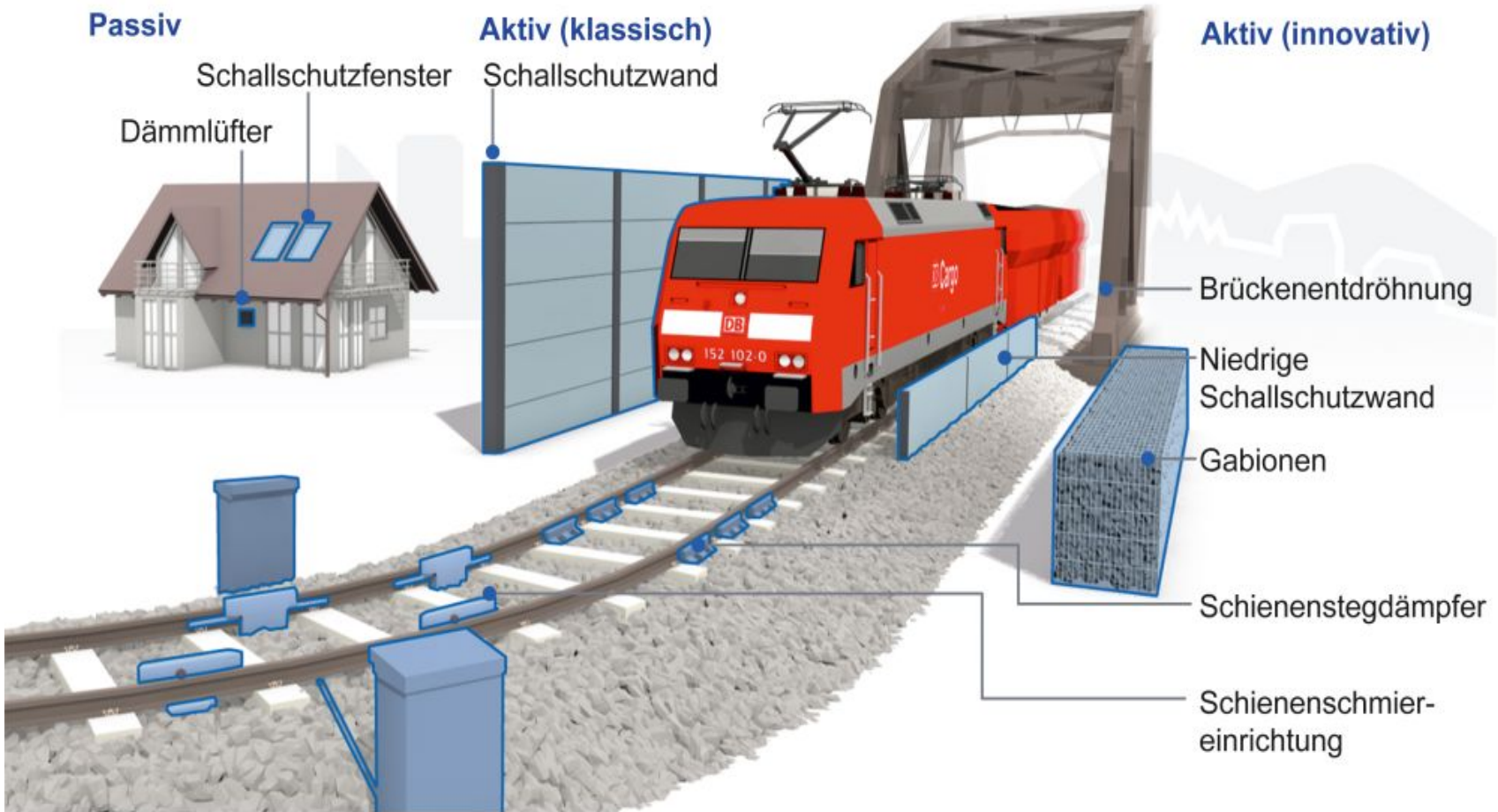
### Passiv



### Aktiv (klassisch)

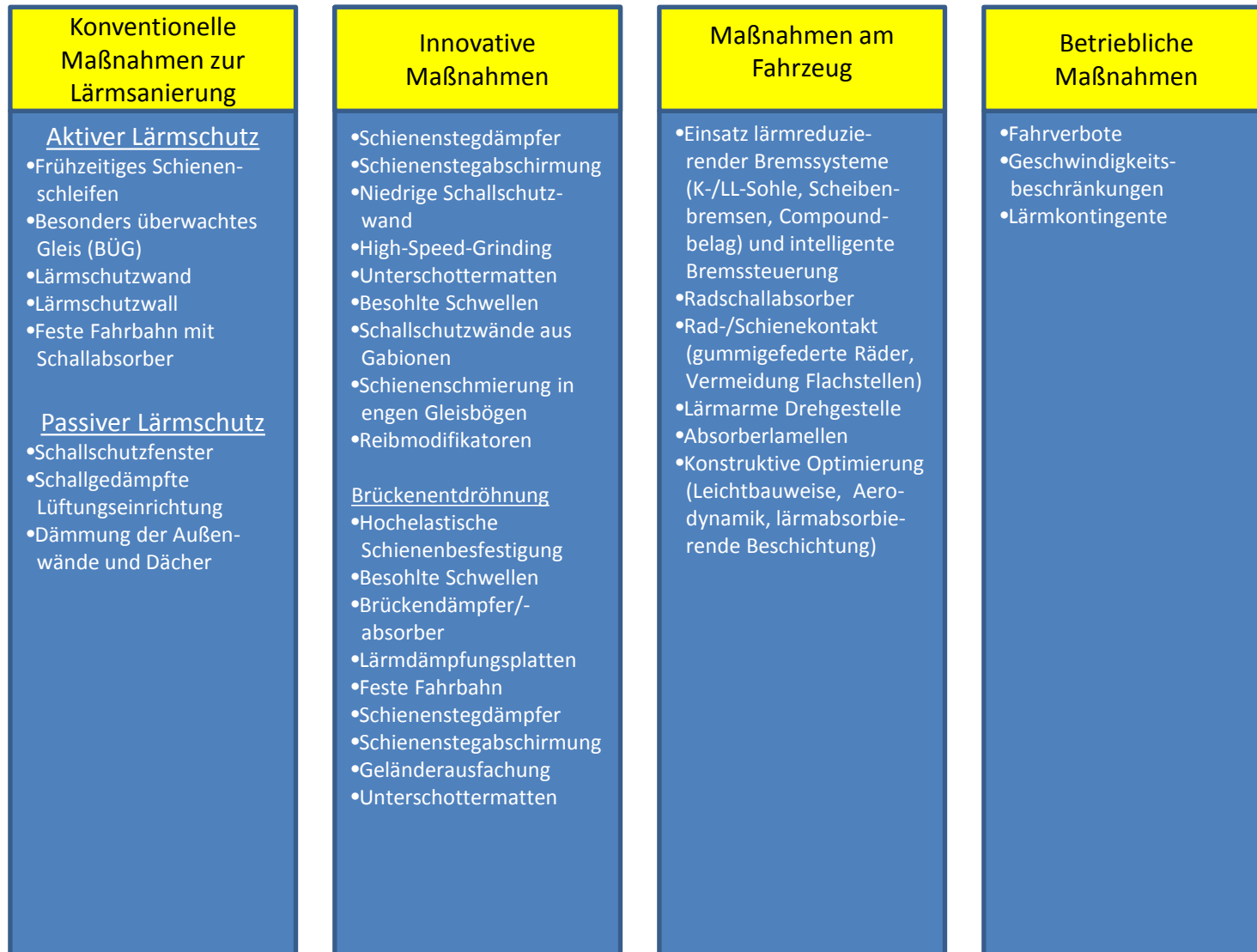
Schallschutzwand

### Aktiv (innovativ)



Quelle: Deutsche Bahn AG

## Übersicht über die grundsätzlichen Maßnahmen zur Lärminderung





## Entwicklung eines neuen Modells zur Berechnung der volkswirtschaftlich optimalen Kombination von Lärmschutzmaßnahmen am Schienenweg

### Bisherige Situation

#### A) Schall beeinträchtigt die Gesundheit:

- gesetzliche Lärmwerte werden als zu hoch eingestuft/empfunden
- Kein Entfall des Schienenbonus (-5dB(A)) bis 2015
- Fehlende Betrachtung Spitzenpegel
- Keine Bewertung Schienenzustand (z.B. Schienenrauheit und Graugussbremse bewirken +20dB(A))
- Keine Erfassung und Bewertung der Schalldynamik (Anstiegssteilheit)
- Keine Erfassung der Impulshaltigkeit und örtlichen Besonderheiten (z.B. Weiche, Schienenstoß, Bahnhofslärm, Pfeifen vor unbeschränktem BÜ)
- Mittelungspegel zeigt keine Lärmspitzen und zeitlichen Verteilungen

B) Keine bzw. geringe Akzeptanz von bestimmten Lärmschutzmaßnahmen

C) Steigende Investitionskosten bei Neu- und Ausbaumaßnahmen durch langjährige Verzögerungen der Planfeststellungsverfahren (Hauptursache: Lärmschutz)



## Anforderungen an ein neues Modell

A) Schall beeinträchtigt die Gesundheit

B) Keine bzw. geringe Akzeptanz von bestimmten Lärmschutzmaßnahmen

C) Steigende Investitionskosten bei Neu- und Ausbaumaßnahmen durch langjährige Verzögerungen der Planfeststellungsverfahren (Hauptursache: Lärmschutz)

### Anforderungen

- Lärmgrenzwert bzw. Grenzwertbereich definieren
- EU-Empfehlungswerte
- Ersatzmaßnahmen für Entfall Schienenbonus (SB)
- Erfassung von Spitzenpegel (Sp)
- Vor-Ort-Messungen durchführen und Maßnahmen ableiten
- Lärmmonitoring

Akzeptanzbewertung der Lärmschutzmaßnahmen vornehmen (Kosten, Lärmwirkung, „weiche“ Faktoren)

Optimalen Lärmschutz ermitteln unter Beachtung der erwarteten Laufzeitverzögerung, den Gesamtkosten und der Akzeptanz der Lärmschutzmaßnahmen

## Gesetzliche Grenzwerte und Ermittlungsverfahren von Lärm unter Beachtung medizinischer Studien

<b>Schall beeinträchtigt die Gesundheit</b>	<b>Kenngößen zur Beschreibung der schädigenden Eigenschaften</b>	<b>Ermittlungsoptionen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dauerhaft einer hohen Beschallung ausgesetzt ist</li> <li>• Auswirkungen nachts (Schlaf) negativer als tags</li> <li>• Mehrere Aufwachreaktionen nachts</li> <li>• Wirkungsgrad der Lärmschutzmaßnahmen (unterschiedliche Wirkung bei ein- und dergleichen Maßnahme an verschiedenen Standorten)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittelungspegel</li> <li>• Grenzwerte nachts</li> <li>• Spitzenpegel, Anstiegssteilheit</li> <li>• Lärmmonitoring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berechnung, Messung</li> <li>• Berechnung, Messung</li> <li>• (Berechnung), Messung</li> <li>• Messung</li> </ul>



## Vor- und Nachteile der Ermittlungsoptionen

Berechnung	Messung
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ flächenhafte Darstellung (Lärmkarten)</li> <li>+ Prognosen</li> <li>+ Konzentration auf Schienenlärm</li> <li>+ keine Umwelteinflüsse</li> <li>- Abbildung idealisierter Bedingungen</li> <li>- Komplexe Ausbreitungsrechnung, da Referenzpunkt (25m Abstand, 3,5m über Gleisoberkante) ungleich Schlafzimmer</li> <li>- Lärmkarten (Basis Schall [03]) mit Abweichungen bis zu 10 dB(A)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Störquellen (verkehrs-, Industriegeräusche, etc.)</li> <li>- Punktuell keine flächenhafte Lärmbelastung messbar</li> <li>- Auswirkungen von Klima und Temperatur</li> <li>+ Zustand von Fahrzeugen und Rädern</li> <li>+ realer Schienenzustand</li> <li>+ Schalldynamik (Anstiegssteilheit)</li> <li>+ Berücksichtigung realer Umwelteinflüsse:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiche +3 dB(A)</li> <li>• Schienenstoß + 4-7 dB(A)</li> <li>• Bremsende/anfahrende Züge</li> <li>• Pfeifen vor unbeschränkten BÜ</li> <li>• Bahnhofsumfeld +5 dB(A)</li> </ul> </li> </ul>

## Bewertung der unterschiedlichen nächtlichen Immissionswerte

Rechtliche Grundlagen	Lärmwerte*	Definition
16. BImSchV, Lärmvorsorge	49 dB(A)	Grenzwert (inkl. SB bis 2015)
TA Lärm	35 dB(A)	Grenzwert
Lärmsanierung	60 dB(A)	Grenzwert (inkl. SB bis 2015)
Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (1999)	35 – 40 dB(A)	Vorsorgezielwert (exkl. SB)
DIN 18005 Beiblatt 1 „Schallschutz im Städtebau“	40 – 45 dB(A)	Orientierungswert (exkl. SB)
BVerwG, Urteil 07.03.2007	30 – 35 dB(A)	Dauerschallpegel (exkl. SB)
Lnight, Richtlinie des Europäischen Parlaments 2002/49/EG	< 55 dB(A)	Belästigung (exkl. SB und Lästigkeitsaufschlag 10dB(A))
Umweltministerium Baden-Württemberg	60 dB(A)	Empfehlung

**Fazit: hohe Bandbreite von 30-60 dB(A)**

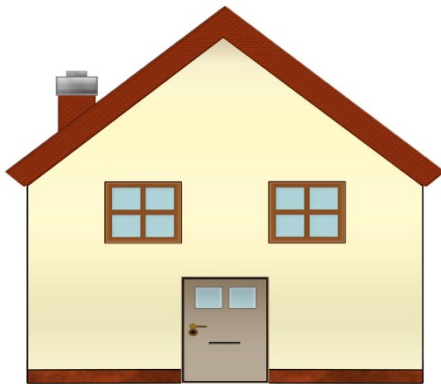
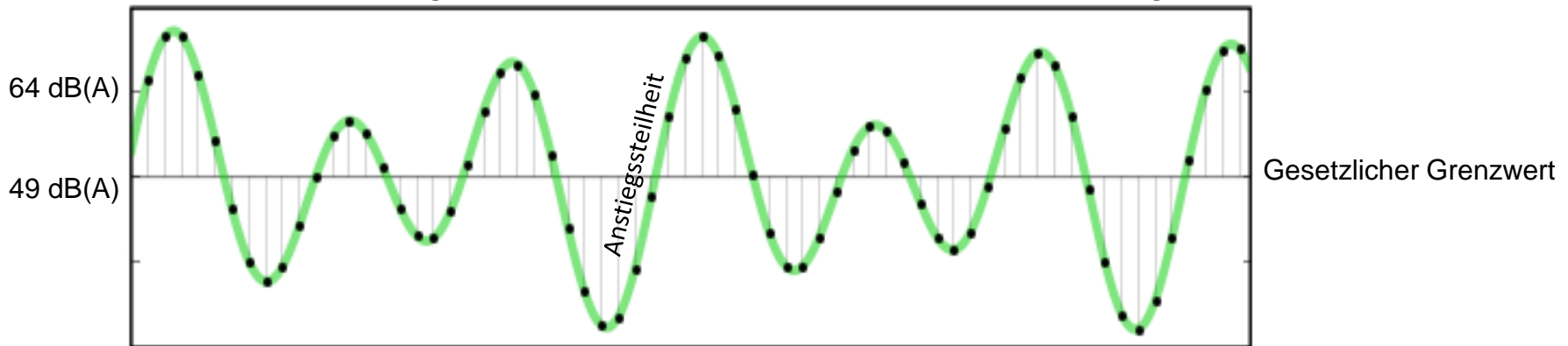
\* Nachts (22.00 – 6.00 Uhr) in reinen Wohngebieten

## Grenzwerte für Spitzenpegel

### Vorschlag 1:

max. 6 Überschreitungen/Nacht

max. 64 dB(A): gesetzlicher Grenzwert+10 dB(A) Lästigkeit+5 dB(A) SB

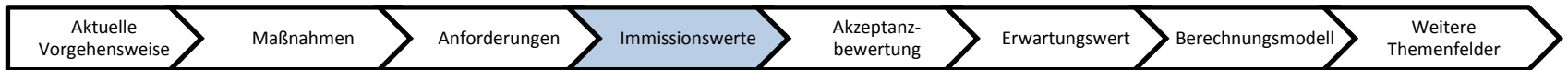


### Vorschlag 2 (Innenraum):



Kritischer Toleranzwert: max. 60 dB(A) und 6 Überschreitungen/Nacht

Präventiver Richtwert: max. 13 Überschreitungen/Nacht von 53 dB(A)



## Kombination aus der Berechnung von Lärm und der vor-Ort-Messung

### Wahl der Kenngrößen und Methoden

- Messung des Spitzenpegels
- Messung der Lärmwerte (dB(A)) und Abgleich mit den Berechnungen
- Messung der Lärmwerte (dB(A)) nach Realisierung der Lärmschutzmaßnahmen

### Herleitung Grenzwert (Mittelungspegel) für max./min. Lärmschutz

- Maximal: Beibehaltung der 49 dB(A) ohne Schienenbonus (Grundlage 16. BImSchV)
- Mittelwert: 45 dB(A),  $L_{\text{night}}$  55 dB(A) minus Lästigkeit
- Minimal: Grenzwert von 40 dB(A)
  - arithmetischer Mittelwert der unterschiedlichen Lärmwerte
  - WHO/EU-Empfehlungswert  $L_{\text{night}}$  40 dB(A)
  - unter 40 dB(A) nur geringe Schlafstörungen (physiologische Untersuchung, Umweltbundesamt)

# Praxisbeispiele für Grenzwerte

Bereich	Aus- und Neubauprojekte	Grenzwert	Kommentar
Maximal	Güterumfahrung Freiburg	49 dB(A)	Kompensation des Schienenbonus 5 dB(A)
	Haltingen – Weil	49 dB(A)	Absenkung der 5m hohen Lärmschutzwand Weitere Reduktion um 3-5 dB(A) zur Kompensation des Schienenbonus
Mittelwert	Offenburg	45 dB(A)	Lnight (55 dB(A) minus 10 dB(A) Aufschlag für Lästigkeit)
	Dresdner Bahn (Berlin)	45 dB(A)	Keine wesentlichen baulichen Veränderung 60 dB(A); Lnight 55 dB(A) minus Lästigkeit 10 dB(A)
Minimal	Oberhausen - Emmerich	40 dB(A) Spitzenpegel 60 dB(A)	Gesetzliche Grenzwerte 49 dB(A) werden erreicht  Messwerte nachts Ist (gemessen) 93,3 dB(A)

## Bewertung der aktiven, passiven und innovativen Lärmschutzmaßnahmen und deren Akzeptanz

Kenngrößen	Einheiten	Ermittlung und Bewertung
Kosten der Maßnahme	Euro pro Meter	Volkswirtschaftliche Bewertung; je höher die Lärmwirkung dB(A) und niedriger die Kosten (€/m), desto höher der volkswirtschaftliche Nutzenfaktor
Lärmwirkung	dB(A)	Zweckmäßigkeit vor Lärm zu schützen: ++ $\geq 10$ dB(A), Halbierung des Lärms + $> 3 - 10$ dB(A), deutlich hörbar 0 1 - $\leq 3$ dB(A), kaum hörbar
"weiche" Fakoren: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trennwirkung, Sichtbehinderung</li> <li>• Material</li> <li>• Gepflegtheit</li> <li>• Einbindung Örtlichkeit (baulicher Eindruck, Ästhetik)</li> </ul>	plus/minus	+ $\leq 2$ m Höhe, positive Akzeptanz - $\geq 4$ m Höhe, negative Akzeptanz ++ Gabione - Aluminium-Lärmschutzwand ++ Lärmschutzwall

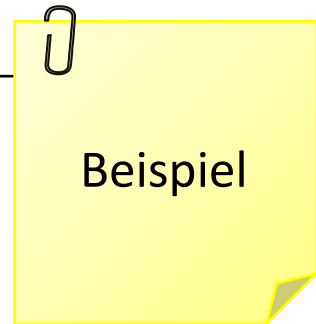
# Übersicht der aktiven, passiven und innovativen Lärmschutzmaßnahmen und deren Akzeptanzbewertung

Übersicht	Kosten	Lärmreduktion	Akzeptanz	Einsatz	Begründung Akzeptanz und Sonstige Aspekte
<b>Aktiver Lärmschutz</b>					
Lärmschutzwand (Aluminium) 200cm	0	++	+	1,2,3	Graffitienschutz wichtig
Lärmschutzwand (Aluminium) 400cm	0	++	-	1,2,3	hohe Trennwirkung
Lärmschutzwand (Gabione)	0	++	++	1,2	ökologische und optische Aspekte
Lärmschutzwand 400cm	+	++	++	1,2	hoher Geländeverbrauch
Lärmschutzwand 600cm	+	++	++	1,2	hoher Geländeverbrauch
Lärmschutzwand 800cm	0	++	++	1,2	sehr hoher Geländeverbrauch
Frühzeitiges Schienenschleifen	++	0	+	1,2,3	Zweckmäßigkeit (+)
Besonders überwachtes Gleis (BüG)	++	0	-	1	Kontrollmöglichkeiten
Feste Fahrbahn mit Schallabsorber (Gleis)	0	0	n.d.	1	teurer als Schotteroberbau Ø 650.000€/km
<b>Passiver Lärmschutz</b>					
Schallschutzfenster	+	++	-	1,2,3	keine Außenwirkung
Schallgedämpfte Lüftungseinrichtung	+	++	-	1,2,3	keine Außenwirkung
Dämmung der Außenwände und Dächer	+	++	-	1,2,3	keine Außenwirkung
<b>Innovative Maßnahmen</b>					
Schienenstegdämpfer	++	0	0	1,3	einfache Montage, aber erschwerte Instandhaltung
Schienenstegabschirmung	++	+	+	1,3	einfache Montage, aber erschwerte Instandhaltung
Schienenschmiereinrichtung	+	+	0	1,2	enge Bögen
niedrige Schallschutzwand 55 cm	0	0	+	1	Vermeidung von Sichtbehinderungen
niedrige Schallschutzwand 74 cm	0	+	+	1	Vermeidung von Sichtbehinderungen
High Speed Grinding	++	+	+	1	Behebung von Oberflächenfehlern
Unterschottermatten	0	0	++	1,3	enge Wohnbebauung
besohlte Schwelle	+	0	+	1,3	Reduzierung von Schlupfwellen
hochelastische Schienenbefestigung	++	+	n.d.	(1),3	Wirkung im niederfrequenten Bereich
Brückendämpfer/-absorber	n.d.	+	+	3	einfache Montage
Lärmdämpfungsplatte	n.d.	+	+	3	einfache Montage
Feste Fahrbahn (Brücken)	0	+	+	3	inkl. elastischer Schienenbefestigung
Geländerausfachung	n.d.	0	+	3	einfache Montage
Reibmodifikatoren für Gleisbremsen/Radsatzschmiereinrichtung	+	+	++	2	hoher Wirkungsgrad



## Übersicht am Beispiel des High Speed Grinding

Innovative Maßnahme	Kosten	Lärmreduktion	Akzeptanz	Einsatz	Begründung Akzeptanz und Sonstige Aspekte
High Speed Grinding	++	+	+	1	Behebung von Oberflächenfehlern
	<250T€/km	Ø3 dB(A), 1 bei GG, 5 bei K-/LL	Wirksamkeit, Zweckmäßigkeit	Strecke	







# Bewertung der Laufzeitverlängerung bei Planfeststellungsverfahren

Volkswirtschaftliche Bewertung:

Anstieg der Investitionskosten  
 Spätere Inbetriebnahme und Verzögerung folgender Effekte

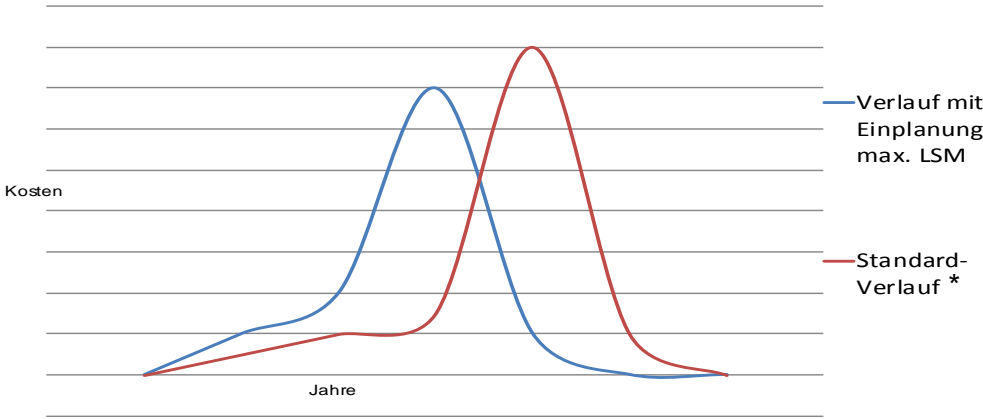
- Verlagerung LKW auf die Schiene
- Fahrzeitverkürzung im Fernverkehr
- Taktverbesserung im Nahverkehr

Betriebswirtschaftliche Bewertung:

Höhere Investitionskosten

- Anstieg Planungskosten
- Höhere Baukosten
- Späterer Nutzen

Schematischer Projektkostenverlauf



\* Bei einer Verzögerung von ca. 10 Jahren

## Laufzeitverlängerungen bei Planfeststellungsverfahren (Praxisbeispiele)

Neu- und Ausbauprojekte	Kostensteigerung	Laufzeitverlängerung	Betroffene Anwohner	Anzahl GZ (nachts)	Steigerung** GZ (nachts)	Abstand Wohnbebauung
Güterumfahrung Freiburg	+ 5.000 Mio.€ (1987-2011)	> 9 Jahre	67.480	165	+100%	400-1400m
Haltingen – Weil		10 Jahre	29.298	165	+100%	5-25m
Offenburg		> 8 Jahre	45.840*	165	+235,7%	5-25m
Dresdner Bahn (Berlin)	+ 300 Mio.€	> 8 Jahre	50.000	94***	> 100%***	16m
Oberhausen – Emmerich	+ 600 Mio.€	> 4 Jahre	100.000	79	+163%	30-35m

• Einwendungen, 9.790 betroffene Anwohner

\*\* gemäß Bundesverkehrswegeplan 2015 (Prognose 2025)

\*\*\* Gesamtanzahl Züge

Betroffene Anwohner:

Anzahl und Steigerung GZ (22:00-6:00 Uhr):

Abstand Wohnbebauung:

Anzahl Einsprüche, Kosten der Lärmschutzmaßnahmen

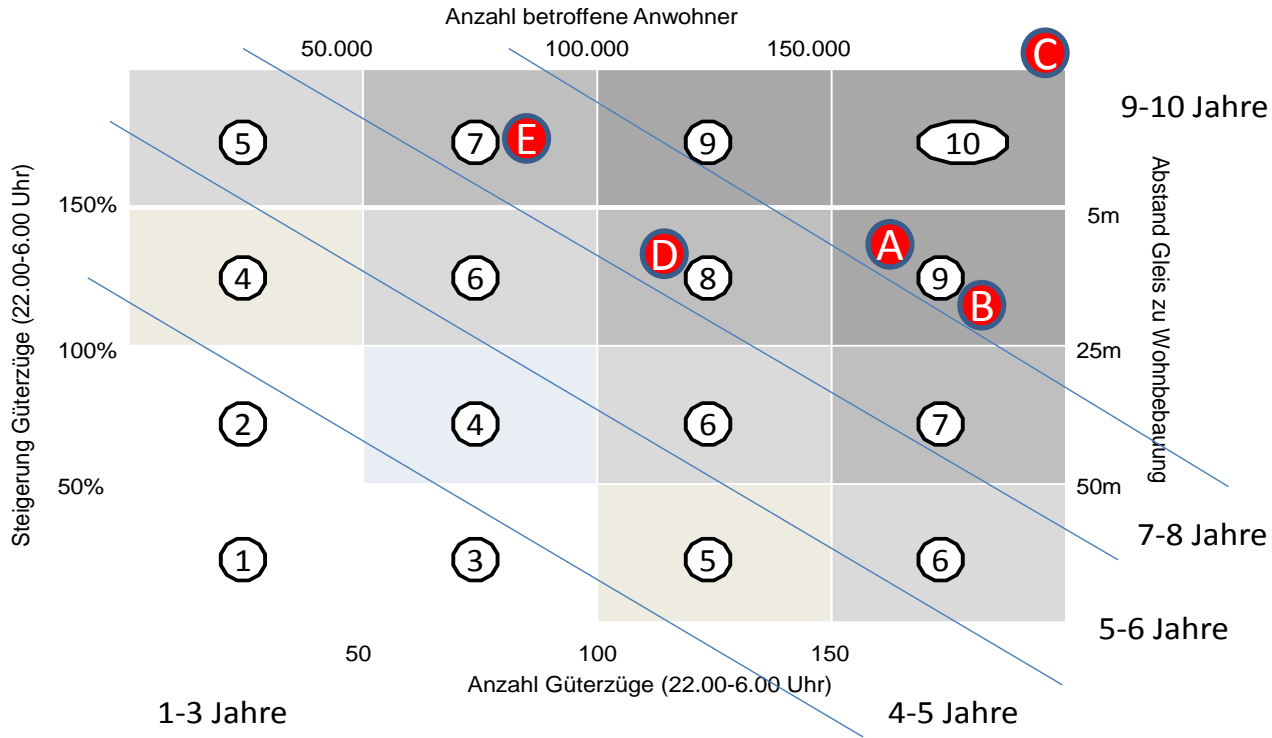
GZ und Dieselloks mit Grauguss-Sohle 93-95 dB(A), hohe Lärmspitzen,

90-120 dB(A) Gehörschaden und Ohrschmerzen

mit dem Abstand sinkt auch der Immissionswert (Abstand 40m - 3dB(A), 100m -10dB(A), 10m +5 dB(A))

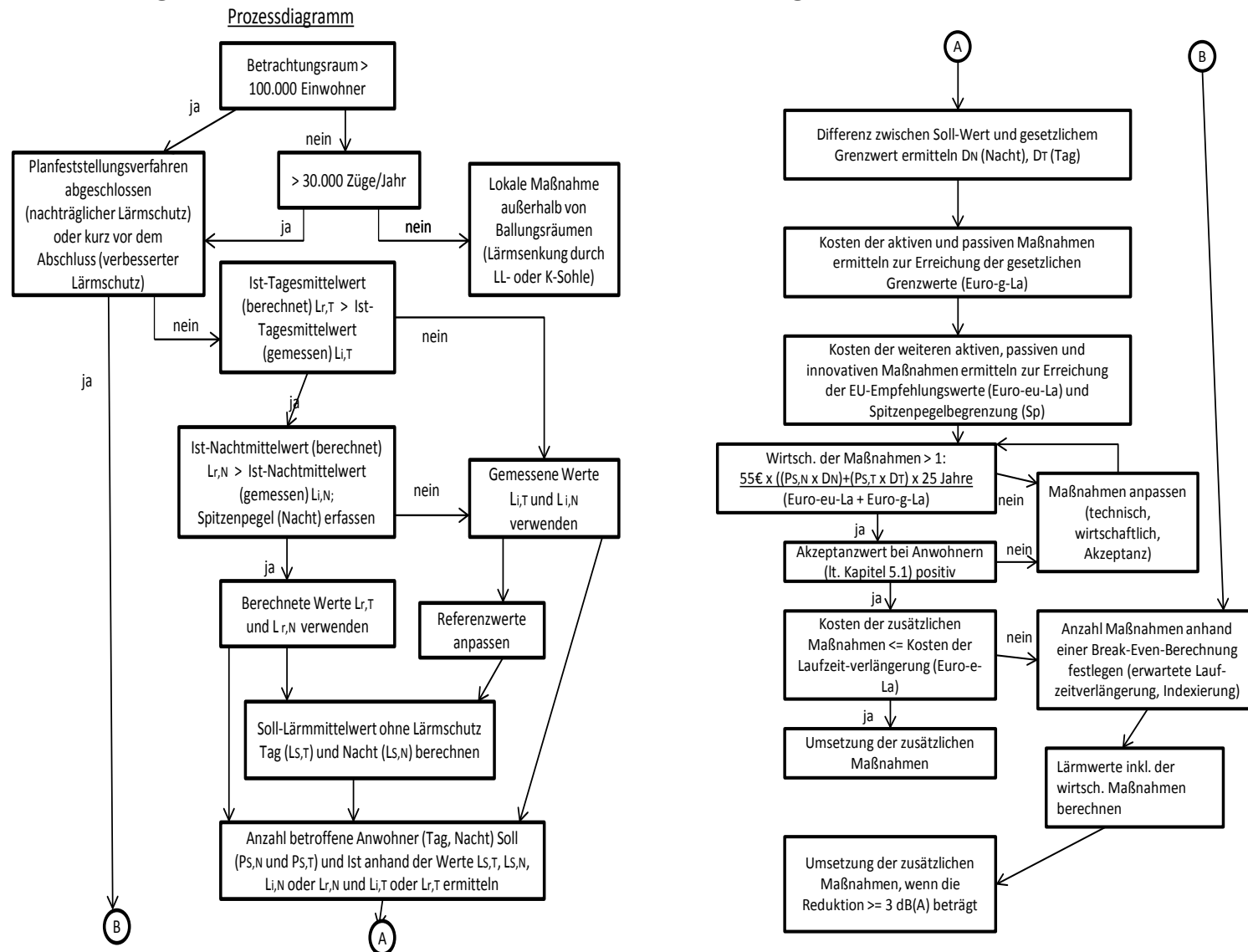


## Einflussparameter für die Laufzeitverlängerung von Planfeststellungsverfahren



- A = ABS/NBS Karlsruhe – Basel; Güterumfahrung Freiburg
- B = ABS/NBS Karlsruhe – Basel; Haltingen – Weil am Rhein
- C = ABSS/NBS Karlsruhe – Basel; Offenburg
- D = Dresdner Bahn, Lichtenrade
- E = ABS 46/2 Grenze D/NL-Emmerich - Oberhausen

# Berechnungs-Modell anhand eines Prozessdiagramms





## Kosten zur Erreichung der gesetzlichen Grenzwerte:

$$\sum_{i=1}^n [\text{TMak}_i + \text{TMpm}_i] = \text{Euro} - g - \text{La}$$

TMak Kosten technische Maßnahmen, aktiver Lärmschutz

TMpm Kosten technische Maßnahmen, passiver Lärmschutz

## Kosten zur Erreichung der Empfehlungswerte:

$$\sum_{i=1}^n [\text{TMaki}_i + \text{TMpmi}_i + \text{TMimi}_i] = \text{Euro} - \text{eu} - \text{La}$$

TMaki Kosten weiterer technische Maßnahmen, zusätzlicher aktiver Lärmschutz

TMpmi Kosten weiterer technische Maßnahmen, zusätzlicher passiver Lärmschutz

TMimi Kosten technische Maßnahmen, innovativer Lärmschutz



## Summe der mit Kosten gewichteten Akzeptanzwerte der Einzelmaßnahmen:

$$\sum_{i=0}^n \left[ \sum_{m=1}^n (A_{i,m} * TMaki_{i,m}) + \sum_{m=1}^n (A_{i,m} * TMpmi_{i,m}) + \sum_{m=1}^n (A_{i,m} * TMimi_{i,m}) \right] > 0$$

A	Akzeptanzwert
TMaki	Kosten weiterer technische Maßnahmen, zusätzlicher aktiver Lärmschutz
TMpmi	Kosten weiterer technische Maßnahmen, zusätzlicher passiver Lärmschutz
TMimi	Kosten technische Maßnahmen, innovativer Lärmschutz
m	Anzahl der Sanierungsbereiche
n	Anzahl der Sanierungsabschnitte

## Kosten der erwarteten Laufzeitverlängerung:

$$L_{Ft} ( BK \times BP_{ix} + PK \times Tf + VW) = Euro - e - La$$

$L_{Ft}$	erwartete Laufzeitverlängerung in Jahren
BK	Baukosten
$BP_{ix}$	Baupreisindexsteigerung; durchschnittliche Baukostensteigerung im Baugewerbe von 2002 bis 2012
PK	Planungskosten
Tf	Tarifsteigerung; durchschnittliche Tarif-/Arbeitskostensteigerung zwischen 2000 und 2010 (1,725% p.a.)
VW	Verkehrswert; betriebswirtschaftliche Bedeutung der Maßnahme für den Infrastrukturbetreiber

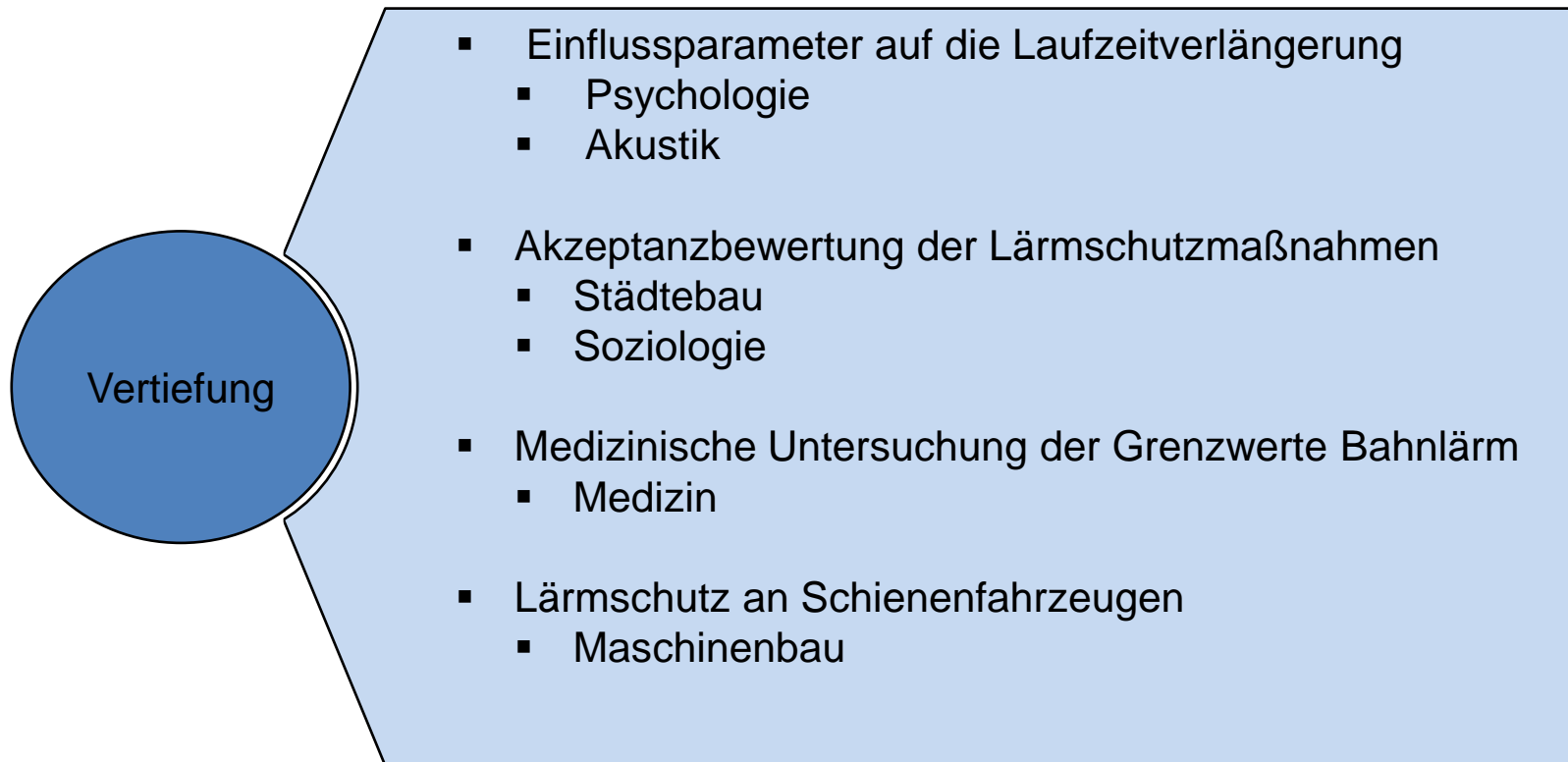
## Zusammenfassung (Berechnungsmodell)

Anforderungen	erfüllt ?	Innovation
Lärmgrenzwert (nachts)	→ Grenzwertbereiche definiert (40, 45, 49 dB(A) ohne SB)	✗
Betrachtung Spitzenpegel	✓	✓
Grenzwert für Spitzenpegel	✓	✓
vor-Ort-Messung (inkl. Schienenzustand und örtl. Besonderheiten)	✓	✓
Akzeptanzbewertung der Lärmschutzmaßnahmen	✓	✓
Erwartungswert für Laufzeitverzögerungen	✓	✓
Optimaler Lärmschutz	✓	✓





## Weitere Themenfelder zur Vertiefung



# Modell zur Berechnung der volkswirtschaftlich optimalen Kombination von Lärmschutzmaßnahmen am Schienenweg



Quelle: <http://www.zm-i.de/leistungen/innovation/eisenbahneuberfuehrung-winterhausen.de>

# Backup

# 1. Aktuelle/bisherige Vorgehensweise

Das bisherige Verfahren zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg wird in vier Stufen durchgeführt (rechtliche Grundlage bildet das BImSchG in Verbindung mit der 16. BImSchV):

1. Durchführung einer Trassierung des Schienenweges zur Vermeidung von schädlichen Lärmeinwirkungen im ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienenden Gebiete . Die Trassierung ist aufgrund ihres besonders effektiven Schutzes gegen Lärm das vorrangige Mittel. Mit dem Abstand zur Wohnbebauung sinkt auch der entsprechende Immissionswert bei einem Regelabstand von 25 m um knapp 3 dB(A) bei 40 m und um 10 dB(A) bei 125 m Abstand. Allerdings erhöht sich auch der Wert bei nur 10 m Abstand, wie er teilweise im Oberen und Mittel-Rheintal vorkommt, um über 5 dB(A). BImSchG
2. Kann die Trassierung z.B. aus Gründen der räumlichen Beengtheit keinen ausreichenden Lärmschutz gewährleisten (Beispiel Rheintal), oder treten andere nicht lösbare Konfliktfälle auf, so müssen entsprechende aktive Lärmschutzmaßnahmen umgesetzt werden (§ 41 BImSchG). Die Maßnahmen sind im Rahmen der Planfeststellung vom Vorhabenträger einzubringen.
3. Wenn die Kosten für aktive Lärmschutzmaßnahmen außer Verhältnis stehen, müssen die Anwohner auf ihrem Grundstück oder an ihrem Gebäude entsprechende passive Maßnahmen realisieren, die vom Vorhabenträger in angemessener Form zu entschädigen sind (§ 42 BImSchG).
4. Liegen auch durch passive Maßnahmen die Geräusche über entsprechenden Grenzwerten, können die Anwohner vom Vorhabenträger auch eine entsprechende finanzielle Entschädigung einfordern (§ 74 Abs. 2 S. 3 VwVfG i.V.m. § 42 Abs. 2 S. 2 BImSchG). In Einzelfällen kann auch eine Entschädigung in Höhe des vollen Grundstückswerts inklusive der Bebauung erfolgen, der sogenannte Übernahmeanspruch.

Der entsprechende Immissionsgrenzwert der bei Neu- und Ausbaumaßnahmen in reinen Wohngebieten nach (22 – 6 Uhr) einzuhalten ist beträgt 49 dB(A). Die Bemessung erfolgt nach folgendem Verfahren bzw. Formel:

$$\text{Mittelungspegel Nachts in dB(A)} : L_{r,N} = L_{m,N}^{(25)} + DFZ + D_{l,v} + DFb + D_{sL} + DBM + DB + S$$

Mittelungspegel Nachts in dB(A) :  $L_{r,N} = L_{m,N}^{(25)} + D_{FZ} + D_{l,v} + D_{Fb} + D_{sL} + D_{BM} + D_B + S$

- $L_{m,N}^{(25)}$  Ist der Mittelungspegel in dB(A) für die Nacht (22 – 6 Uhr), dem normierte Bedingungen zu Grunde liegen (Schotterbett mit Holzschwelle, 100 km/h Geschwindigkeit, 100 m Zuglänge und freie Schallausbreitung), und der mit mehreren Korrekturwerten aufgrund abweichender Bedingungen modifiziert wird.
- $D_{FZ}$  Korrektur der Fahrzeugart. Fahrzeuge mit Radscheibenbremsen erwirken z.B. eine Korrektur von -2 dB(A).
- $D_{l,v}$  Korrektur für die Zuglänge und Geschwindigkeit.
- $D_{Fb}$  Korrektur für die Fahrbahnart. Ein Schotterbett mit Betonschwelle ergibt einen Korrekturwert von +2 dB(A), Schotterbett mit Holzschwelle 0 dB(A), die Feste Fahrbahn von + 5 dB(A) und eine Raseneinbettung (Straßenbahn) -2 dB(A).
- $D_{sL}$  Pegeländerung in Abhängigkeit vom Abstand vom Emissions- und Immissionsort.
- $D_{BM}$  Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung.
- $D_B$  Pegeländerung aufgrund der Topografie, baulicher Maßnahmen und Reflexionen.
- $S$  Schienenbonus mit -5 dB(A), Anmerkung: entfällt zukünftig.

Kosten:	<250 T€/km	++ (unteres Quartil, 5 Maßnahmen)
	250 – 1.000 T€/km	+ (mittleres Quartil, 10 Maßnahmen)
	>1.000 T€/km	0 (oberes Quartil, 6 Maßnahmen)
Lärmreduktion:	≥10 dB(A)	++ (wird als Halbierung des Lärms empfunden)
	>3 – 10 dB(A)	+ (deutlich hörbar)
	≤3 dB(A)	0 (kaum hörbar)
Einsatz:	1	Strecke
	2	Zugbildungs-/Rangieranlage
	3	Brücke
n.d.	nicht definiert	

# Verbale Beschreibung des Modellablaufs

- a) Aktuelle Lärmbelastung des entsprechenden Abschnitts berechnen (Ist-Tagesmittelwert  $L_{r,T}$  und Ist-Nachtmittelwert  $L_{r,N}$ ).
- b) Die zukünftige Lärmbelastung gemäß BVWP 2025 (Soll-Lärmittelwert Tag  $L_{s,T}$  und Soll-Lärmittelwert Nacht  $L_{s,N}$ ) ohne Lärmschutz ermitteln.
- c) Die aktuelle Lärmsituation wird über einen Zeitraum von 6-12 Monaten messen (Ist-Tagesmittelwert  $L_{i,T}$  und Ist-Nachtmittelwert  $L_{i,N}$ ). Liegen die gemessenen Lärmwerte ( $L_{i,T}$  und  $L_{i,N}$ ) über den berechneten Lärmwerten ( $L_{r,T}$  und  $L_{r,N}$ ), so sind die gemessenen Werte als Referenzwerte weiter zu verwenden. Im anderen Fall können die berechneten Werte weiter verwendet werden. Anschließend werden die geplanten Lärmschutzmaßnahmen zur Erreichung der gesetzlichen Grenzwerte abgesetzt. Die zukünftige Lärmbelastung anhand des technisch möglichen Lärmschutz unter Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte berechnen. Sollten die gesetzlichen Grenzwerte nicht eingehalten werden können, so ist eine Tunnellösung bzw. Einhausung zu prüfen.
- d) Bei der Lärmmessung auch die nächtlichen Spitzenpegel ( $S_p$ ) erfassen.
- e) Die betroffenen Anwohner ( $P_{s,N}$  und  $P_{s,T}$ ) ermitteln.
- f) Die Differenzpegel zwischen Soll-Wert (Emissionspegel) und gesetzlichem Grenzwert darstellen ( $D_N$ ,  $D_T$ ).
- g) Die Kosten der Lärmschutzmaßnahmen ermitteln (Planungs- und Baukosten) unter Berücksichtigung der gesetzlichen (Euro-g-La) und der EU-Empfehlungswerte (Euro-eu-La).
- h) Die Wirtschaftlichkeit der über den gesetzlichen Grenzwert hinausgehenden zusätzlichen Lärmschutzmaßnahmen berechnen.
- i) Eine Akzeptanzbewertung der Maßnahmen durchführen.
- j) Den Spitzenpegel ( $S_p$ ) erfassen.
- k) Kostenvergleich zwischen den zusätzlichen Lärmschutzmaßnahmen und der erwarteten Laufzeitverlängerung durchführen. Anzahl Maßnahmen ggfs. anhand einer Break-Even-Berechnung ermitteln.
- l) Die Standard-Laufzeit der Maßnahme (vom Raumordnungsverfahren bis zur Planfeststellung) festlegen.
- m) Den Erwartungswert für die Verzögerung der Standard-Laufzeit ermitteln. Folgende Faktoren sind dafür ausschlaggebend:
  - Anzahl der betroffenen Anwohner
  - Anzahl der Güterzüge pro Tag/Nacht (Ist, Prognose)
  - Lärmbelastung (gemessene Werte) und Lärmberechnung (gemessene Werte, Soll-Werte)
  - Abstand Wohnbebauung zu Gleisanlagen
  - Zerschneidung des Stadtbildes durch Lärmschutzwände
  - Vertaktung Nahverkehr und Erhöhung Anzahl Nah- und Fernverkehrszüge
  - Wegfall oder weitere beziehungsweise neue Fernverkehrshalte
  - Ansiedlung Industrie/Arbeitsplätze
- n) Den Verkehrswert (beziehungsweise Kapitalwert zukünftiger Zahlungsüberschüsse aus dem Investitionsobjekt) bestimmen.
- o) Die Kosten der erwarteten Laufzeitverzögerung berechnen (Euro-e-La).
- p) Die Kosten des maximalen Lärmschutzes ermitteln (Euro-m-Lae).
- q) Vergleich zwischen Euro-e-La und Euro-m-Lae durchführen inklusive Break-Even-Rechnung.
- r) Ermittlung von  $L_{max}$ , dem Optimum zwischen erwarteter Laufzeitverlängerung (Euro-e-La) und den Kosten für den maximalen Lärmschutz (Euro-m-Lae).



Anzahl betroffene Personen Istzustand (Nacht):

$$\sum_{i=1}^n [N_i * (L_{r, N} - L_{on})] = P_{i, N}$$

- N Zahl der betroffenen Personen innerhalb der Nachtgrenzwerte je Sanierungsabschnitt
- $L_{r, N}$  Ist-Emissionspegel des Streckenabschnitts nachts
- $L_{on}$  Zielpegel (für Krankenhäuser/Schulen, reine Wohngebiete und Dorf-/Mischgebiete in der Nacht)

Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen:

$$\frac{[55€ * ((PS, N * DN) + (PS, T * DT)) * 25 \text{ Jahre Nutzungsdauer}]}{(Euro - g - La + Euro - eu - La)} > 1$$





## Kosten zusätzlicher Lärmschutz:

$$\sum_{i=1}^n [TMaka + TMpm + TMima] = \text{Euro} - m - Lae$$

TMaka Kosten (Investition inklusive Instandhaltung) technische Maßnahmen, aktiver Lärmschutz (hohe Akzeptanz)

TMpm Kosten technische Maßnahmen, passiver Lärmschutz. Aufgrund fehlender Akzeptanz bei passiven Maßnahmen wird diese Kostenposition nur selten einfließen.

TMima Kosten technische Maßnahmen, innovativer Lärmschutz (hohe Akzeptanz)

$$\sum_{i=0}^n \left[ \sum_{m=1}^n (A_{i,m} * TMaki_{i,m}) + \sum_{m=1}^n (A_{i,m} * TMpmi_{i,m}) + \sum_{m=1}^n (A_{i,m} * TMimi_{i,m}) \right] > 0$$