

# Lärmschutzanlagen an Straßen – Ersatzbaustoffe als Lösungsansatz

Dipl.-Ing. Astrid Onkelbach MSc

August 2012

## 1 Einleitung

Eine funktionierende Infrastruktur ist ein wichtiger Baustein für wirtschaftlichen Erfolg. Aber Mobilität hat ihren Preis. Denn der Straßenverkehr gehört zu den größten Beeinträchtigungen für Mensch und Umwelt. Die Zahl der Kraftfahrzeuge steigt stetig, wodurch auch die Belastung der Bevölkerung durch Abgase, Feinstaub und Lärm erhöht wird. Hinzu kommen abhängig vom Standort weitere Lärmquellen wie Fluglärm, Gewerbelärm oder Bahnverkehr.

Bei hohen Belastungen kann Lärm zu physischen und psychischen Beeinträchtigungen führen. Dazu kommen wirtschaftliche Folgen wie Wertminderung von Immobilien oder Umsatzausfälle im Freizeit- oder Tourismusbereich aufgrund der geringeren Attraktivität eines Standortes.

Lärmschutzreduzierung oder Lärmschutz ist in der Regel mit aufwändigen Baumaßnahmen verbunden. Die finanzielle Situation der öffentlichen Hand lässt oft keinen Raum für entsprechende Maßnahmen mit den klassischen Baustoffen. Deshalb sollten in Zukunft auch alternative Lärmschutzmaßnahmen verstärkt diskutiert werden. Eine Möglichkeit ist der Einsatz von aufbereiteten Materialien als Baustoff im aktiven Lärmschutz. Die Aufbereitung ist günstiger als die Herstellung oder Beschaffung von Primärrohstoffen und kann deswegen eine Möglichkeit sein, um Projekte, die sonst aus betriebswirtschaftlichen Gründen nicht realisierbar gewesen wären, doch noch umzusetzen.

## 2 Akustische Grundlagen

Lärm ist störender, belästigender oder gefährdender Schall. Er ist das Ergebnis subjektiver Wahrnehmung einer entfernt gelegenen Schallquelle. Da Menschen Geräusche hauptsächlich mit den Ohren wahrnehmen, ist Luftschall für den Menschen die bedeutendste Lärmquelle.

Eine Lärmquelle setzt Luftteilchen um ihre Ruhelage in Bewegung. Diese Störung breitet sich wellenförmig mit Schallgeschwindigkeit aus. Für den Höreindruck sind die Lautstärke sowie die Tonhöhe von herausragender Bedeutung.

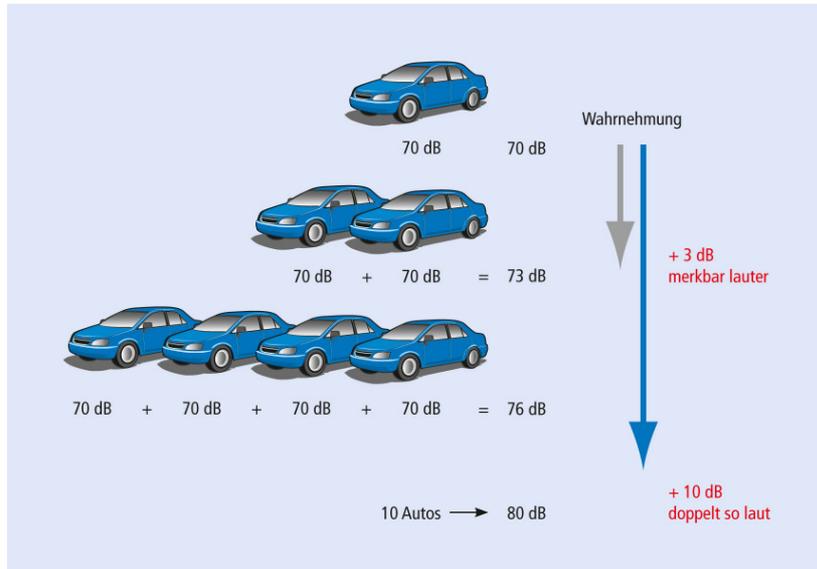
Die Tonhöhe wird von der Frequenz des betrachteten Tones bestimmt. Dabei kann der Mensch abhängig vom Alter nur bestimmte Frequenzbereiche wahrnehmen – angefangen von 16 bis 20 Hz bis zu 16 bzw. 20 kHz. Das entspricht ungefähr einer Bandbreite von zehn Oktaven.

Die Wahrnehmung von Lautstärke verändert sich mit der Frequenz. Aus diesem Grund wird bei der Geräuschanalyse eine Frequenzbewertung vorgenommen. Zum Beispiel werden bei der A-Bewertung – ausgedrückt als dB(A) – die niedrigen und hohen Frequenzen weniger stark berücksichtigt, da der Mensch hier unempfindlicher ist.

Wichtigen Einfluss auf die Lautstärke hat der Schalldruck. Dabei kann der Mensch einen weiten Bereich von  $10^{-5}$  bis 100 Pa (N/m<sup>2</sup>) erfassen. Wegen der sehr kleinen Druckmaße wurde die Größe Schalldruckpegel mit logarithmischem Maßstab eingeführt.

Aufgrund der logarithmischen Skala des Schalldruckpegels ergibt sich eine Besonderheit in der Relation zwischen Lärmquelle und deren Wahrnehmung (siehe Abbildung 1). Verdoppelt man die Anzahl gleich lauter Quellen (hier am Beispiel von Pkw), erhöht sich der Schalldruck um 3 dB, was als merkbar lauter wahrgenommen wird. Die Erhöhung des Schalldrucks um 10 dB wird als doppelte Lautstärke empfunden.

**Abbildung 1:** Schallereignisse und resultierende Wahrnehmung – Prinzipskizze nach Kloepper et al.<sup>1</sup>

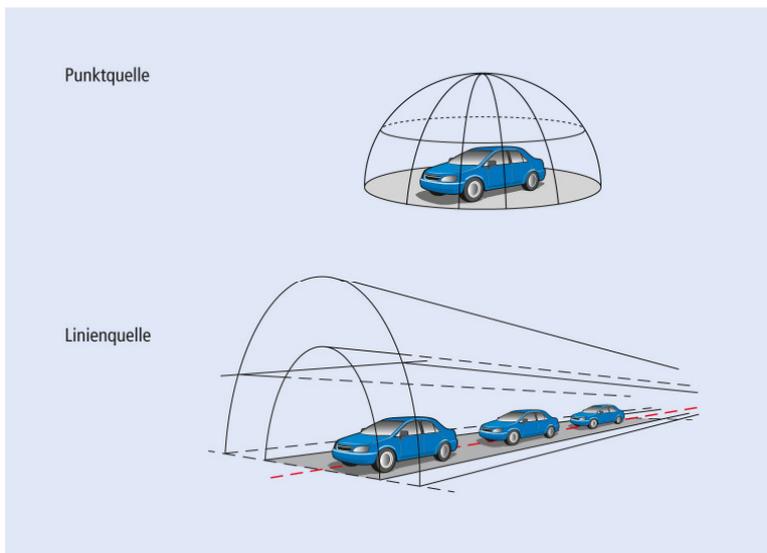


Um den zeitlichen Verlauf des Schallereignisses zu erfassen wird eine Betrachtung über einen gewählten Zeitraum durchgeführt. Diese Vorgehensweise bezieht die Dauer, Anstieg oder Abfall eines Einzelgeräusches oder vieler aufeinander folgender Ereignisse ein. Bei Immissionsberechnungen an Straßen erfolgt dies in der Regel getrennt für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr) und für die Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr).

Die empfundene Lautstärke wird stark von der Art der Quelle und deren Distanz zum Zuhörer beeinflusst. Kontinuierliches Lärmgeschehen wie z. B. fließender Verkehr wird anders wahrgenommen als intermittierende Geräusche, wie beispielsweise ein Motorrad bei sonst ruhiger Umgebung, ein vorbeifahrender Zug oder auch ein startendes bzw. landendes Flugzeug. Abbildung 2 zeigt diese unterschiedlichen Arten der Lärmquelle.

Bei kleinen Abmessungen der Schallquelle im Verhältnis zur Distanz des Betrachters spricht man von punktueller Lärmquelle, z. B. ein einzelner vorbeifahrender Pkw. Das Schallfeld verbreitet sich halbkugelförmig mit gleich hohem Schallpegel an gleich weit entfernten Orten von der Quelle. Verdoppelt man den Abstand zur Quelle wird bei ungestörter Ausbreitung der Schalldruck um 6 dB geringer.

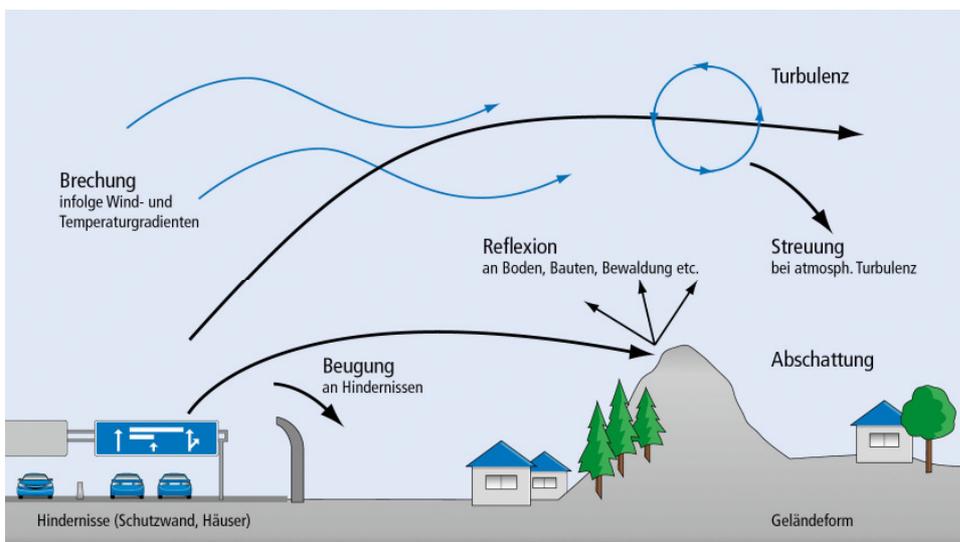
**Abbildung 2:** Punkt- und Linienquellen – Prinzipskizze nach Klopfer et al.<sup>2</sup>



Bei einer Linienquelle ist eine Dimension der Quelle (z. B. Längserstreckung) groß im Vergleich zum Abstand zur Quelle. Die Schallenergie breitet sich bei Linienquellen wie ein Halbzylinder aus. Eine Verdoppelung des Abstands zur Quelle führt bei ungestörter Ausbreitung zu einer Verringerung des Druckpegels um 3 dB.

Abbildung 3 zeigt, dass die Schallausbreitung von der Quelle zum Zuhörer in der Regel nicht ungestört verläuft, sondern einer Vielzahl komplexer Einflüsse wie Wind, den Temperaturverhältnissen unterschiedlicher Luftschichten, Reflexion oder Beugung an aufragenden Hindernissen unterliegt. Diese Einflüsse können von durchaus relevanter Größenordnung sein und sind deswegen in die Bewertung von Immissionen einzubeziehen.

**Abbildung 3:** Sekundäre Einflüsse auf die Schallausbreitung nach Klopfer et al.<sup>3</sup>



### 3 Straßenverkehr

Straßenverkehrslärm entsteht hauptsächlich aus den Antriebsgeräuschen von Motoren und dem Rollgeräusch, welches durch die Reifen auf der Fahrbahn erzeugt wird. Reifenart und Fahrbahnbelag haben entsprechenden Einfluss auf den Lärmpegel. Auch die Fahrzeugart wie Lkw, Pkw und Motorrad bzw. die Zusammensetzung des Verkehrs aus diesen Arten bestimmt die Lärmbelastung.

Zunehmende Motordrehzahl und -belastung erhöhen das Antriebsgeräusch. Aufgrund der Abhängigkeit des Antriebsgeräusches von der Motordrehzahl wird der Geräuschpegel also aus der Kombination von Gangwahl und Geschwindigkeit beeinflusst.

Die Antriebsgeräusche von Lkw und Pkw werden zusätzlich von Rollgeräuschen überlagert, für Motorräder sind die Rollgeräusche vernachlässigbar. Der Rollgeräuschpegel steigt mit der Fahrgeschwindigkeit an. Reifenart und Straßenbelag und die Interaktion zwischen beiden sind hier ausschlaggebend für die Geräuschentwicklung.

Aus den Ausführungen von Kloepfer et al [6] kann man folgende Haupteinflussfaktoren und ihre Bedeutung auf den Straßenverkehrslärm, wie in den Tabellen 1 bis 3 dargestellt, zusammenfassen.

**Tabelle 1:** Veränderung des Lärmpegels nach Art der Lärmquelle

Faktor	Art der Lärmquelle	
	Punktquelle	Linienquelle
Verdoppelung des Abstands zur Lärmquelle	- 6 dB(A)	- 3 dB(A)

**Tabelle 2:** Prozentuale Anteile der einzelnen Teilquellen am Gesamtgeräusch nach Fahrzeugkategorie

Teilquellen in der Fahrzeugkategorie	Zusammensetzung der Geräuschanteile nach Fahrzeugart		
	Pkw: 3. Gang	Pkw: 2. Gang	Schwerer Lkw
(Verbrennungs-)Motor	17-22 %	34-57 %	66 %
Getriebe	3-18 %	3-14 %	11 %
Auspuff	4-20 %	2-16 %	10-11 %
Ansaugmündung	8-20 %	9-25 %	2-3 %
Reifen	28-63 %	16-38 %	10-11 %

**Tabelle 3:** Relative Veränderung des Lärmpegels in Abhängigkeit ausgewählter Einflussfaktoren

Faktor / Maßnahme	Rollgeräusch	
	Pkw	Lkw
Lkw-Reifen Profile (Traktion- vs. Längsprofil)	Nicht zutreffend	+/- 4 dB(A)
Bandbreite innerhalb unterschiedlicher Reifenarten	+/- 4 bis 7 dB(A)	+/- 2 bis 4 dB(A)
Bandbreite unterschiedlicher Fahrbahnoberflächen*	+/- 12 bis 13 dB(A)	+/- 8 dB(A)
Verdoppelung / Halbierung der Geschwindigkeit	+/- 9 bis 11 dB(A)	+/- 9 bis 11 dB(A)
Verdoppelung der Fahrzeuganzahl	+ 3 dB(A)	+ 3 dB(A)

\* Vergleich in [6] von: Splittmastixasphalt 0/11 (Asphaltbeton), Gussasphalt, Zementbeton (Jutetuch), Zementbeton (Querrillen), unebenes Pflaster, Drainasphalt 0/8 neu

Die größten Einsparpotentiale beim Gesamtgeräusch sowohl für Pkw als auch Lkw liegen in der Reduktion des Rollgeräuschs. Dabei können Verbesserungen besonders erreicht werden durch:

- Einsatz leiserer Fahrbahndeckschichten oder
- Optimierung der Reifenprofile bzw. Reifen.

Auch eine Reduzierung des Motorengeräuschs wäre für die Verminderung des Verkehrslärms relevant.

Bei der Betrachtung von Lärminderungspotentialen muss allerdings das Verhältnis von Kosten und Nutzen abgewogen werden. Teilweise sind die technischen Möglichkeiten, die eine weitere Reduktion z. B. der Motorengeräusche bewirken wird, aus rein wirtschaftlichen Gründen nicht realisierbar. Oder andere, z. B. bauliche Maßnahmen, sind wirtschaftlich günstiger und effektiver. Eine Einzelfallbetrachtung ist somit notwendig.

#### **4 Lärmvorsorge, Lärmsanierung, Lärmschutzmaßnahmen**

Zur Reduzierung der Lärmbelastung kommen unterschiedliche Strategien zum Tragen. Neben der Emissionsverringerung an der Lärmquelle wie in Abschnitt 3 dargelegt kann auf Maßnahmen der Immissionsreduzierung zurückgegriffen werden. Dazu gehören bauliche Schutzmaßnahmen, die in zwei Kategorien unterschieden werden können:

- Passiver Lärmschutz
- Aktiver Lärmschutz

Zum passiven Lärmschutz gehören Schallschutzverbesserungen durch Maßnahmen z. B. an Gebäuden durch den Einbau von Schallschutzfenstern oder durch erhöhte Schalldämmung von Außenwänden.

Zum aktiven Lärmschutz gehören bauliche Maßnahmen an der Quelle des Lärms wie:

- Lärm berücksichtigende Planung (z. B. Trassenführung)
- Lärmschutzwälle, Steilwälle
- Lärmschutzwände
- Lärm reduzierende Fahrbahnoberflächen („Flüsterasphalt“)
- Teil- und Vollabdeckungen (Tunnel)

Aktive Lärmschutzmaßnahmen haben Vorrang vor passiven, da sie die Lebensqualität auch außerhalb der Gebäude positiv beeinflussen. Teilweise sind auch Kombinationen verschiedener Maßnahmen sinnvoll. In den nachfolgenden Abschnitten wird besonders auf die aktiven Baumaßnahmen eingegangen.

Generell wird beim Lärmschutz zwischen Maßnahmen der Lärmvorsorge und der Lärmsanierung unterschieden.

Lärmvorsorge kann wie folgt umschrieben werden:

- Lärmvorsorge ist im Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) und in der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV) geregelt.
- Die Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV) wird für passiven Lärmschutz herangezogen, wenn die Kosten für aktiven Lärmschutz unverhältnismäßig hoch sind.
- Lärmvorsorge bezieht sich auf Neu- und Ausbau von Straßen bzw. auf den Bau und wesentliche Änderung von Straßen.
- Man spricht von wesentlichen Änderungen von Straßen, wenn
  - eine Erweiterung um einen oder mehrere Fahrstreifen erfolgt oder
  - der Beurteilungspegel des zu verändernden Verkehrsweges um mind. 3 dB(A) oder auf mindestens 70 dB(A) am Tag bzw. 60 dB(A) nachts erhöht wird oder
  - wenn ein an diesem Verkehrsweg bereits vorhandener Verkehrslärmpegel von 70 dB(A) bei Tag oder 60 dB(A) bei Nacht durch einen baulichen Eingriff erheblich erhöht wird (Ausnahme: Gewerbegebiete).
- Der Beurteilungspegel ist zu berechnen. Lärmmessungen werden zur Beurteilung nicht herangezogen.
- Die Berechnung des Beurteilungspegels beinhaltet nur den Verkehr des neu- oder auszubauenden Verkehrsweges, nicht die Geräuschbelastung von benachbarten Straßen oder Verkehrswegen (analoges gilt bei der Feststellung der Anspruchsvoraussetzung bei der Lärmsanierung).
- Immissionsgrenzwerte für Lärmvorsorge werden für Tag und Nacht wie folgt unterschieden:

**Tabelle 4:** Grenzwerte für Lärmvorsorge

	Tag	Nacht
An Krankenhäusern, Schulen, Kur- und Altenheimen	57 dB(A)	47 dB(A)
In reinen und allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	59 dB(A)	49 dB(A)
In Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	64 dB(A)	54 dB(A)
In Gewerbegebieten	69 dB(A)	59 dB(A)

Lärmsanierung lässt sich in Kürze wie folgt beschreiben:

- Lärmsanierung umfasst Lärmschutzmaßnahmen an bestehenden Bundesfernstraßen.
- Der Beurteilungspegel wird wie bei der Lärmvorsorge nach den FGSV „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90“ [11] berechnet. Eine Messung ist auch hier nicht für die Beurteilung, ob die Immissionsgrenzwerte/Auslösewerte erreicht werden, zulässig.
- Analog zur Lärmvorsorge wird für die Feststellung der Anspruchsvoraussetzung in der Lärmsanierung die Geräuschbelastung von benachbarten Verkehrswegen nicht berücksichtigt.
- Auch bei der Lärmsanierung wird die 24. BImSchV angewendet, wenn statt des vorrangig vorzusehenden aktiven Lärmschutzes aus Kostengründen passiver Lärmschutz durchgeführt wird.
- Seit 1.1.2010 gelten in Übereinstimmung mit dem „Nationalen Verkehrslärmschutzpaket II“ von 2009 die folgenden Auslösewerte für die Lärmsanierung

**Tabelle 5:** Auslösewerte für Lärmsanierung an Bundesfernstraßen

	Tag	Nacht
An Krankenhäusern, Schulen, Kur- und Altenheimen, in reinen und allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	67 dB(A)	57 dB(A)
In Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	69 dB(A)	59 dB(A)
In Gewerbegebieten	72 dB(A)	62 dB(A)

Beim Vergleich der Tabellen 4 und 5 ist erkennbar, dass die Auslösewerte für Lärmsanierungsmaßnahmen über den Grenzwerten der Lärmvorsorge liegen. In reinen und allgemeinen Wohngebieten, Schulen und Krankenhäusern beträgt die Differenz 8 bis 10 dB(A).

## 5 Vergleich unterschiedlicher baulicher Lärmschutzmaßnahmen

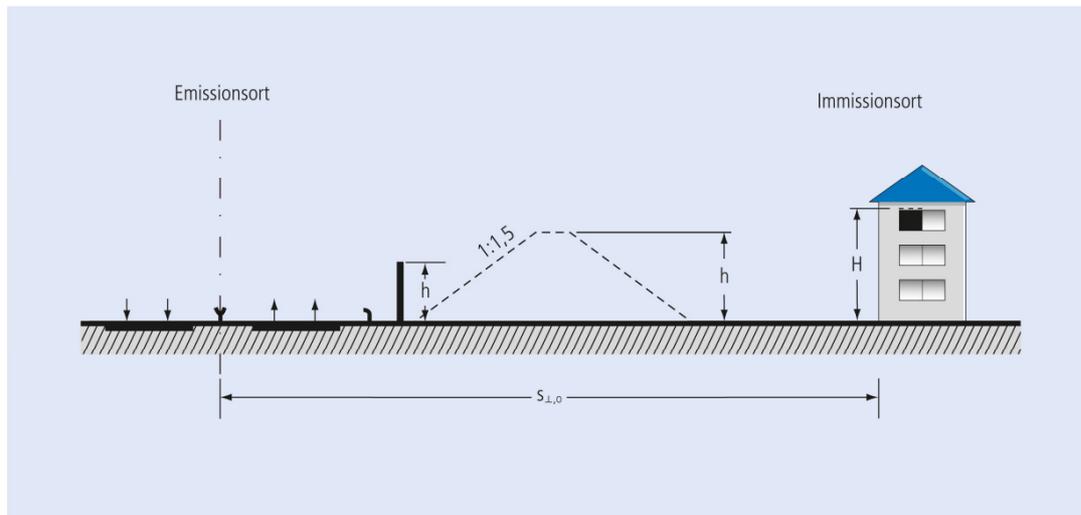
### 5.1 Abschirmwirkungen

Modellrechnungen, die in Übereinstimmung mit 16. BImSchV erfolgt sind, haben nach Koepfer et al. [6] ergeben, dass eine verträgliche Nachbarschaft von Menschen und Autobahn ohne bauliche Zusatzmaßnahmen erst ab einer Distanz von 700 m möglich ist. Dies ist in Deutschland jedoch selten zu realisieren, weshalb bauliche Maßnahmen im Regelfall an stark befahrenen Verkehrswegen notwendig sind.

In günstigen Fällen können durch aktive Lärmschutzmaßnahmen – sei es Wall, Steilwall oder Wand – laut Statistik des Lärmschutzes an Straßen 2010 [1] Belastungspegel um bis zu 15 dB(A) reduziert werden.

Nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90 [11] gibt es auch eine vereinfachende Berechnung des Beurteilungspegels mit Abschirmung an „langen gerade Straßen“ mit Regelquerschnitten. Wichtige Einflussgrößen sind der Regelquerschnitt der Straße sowie der horizontale Abstand von Quelle zu Immissionsort ( $s_{\perp,0}$ ). Weiterhin sind die Höhe  $h$  des baulichen Abschirmobjektes sowie der vertikale Abstand von Emissions- und Immissionsort  $H$  nach Abbildung 4 von Bedeutung.

**Abbildung 4:** Lärmschutzwand oder alternativ Lärmschutzwall als bauliche Lärmschutzmaßnahme – Prinzipskizze nach RLS-90<sup>4</sup>



Einige beispielhafte Daten für Abmessungen von Wällen und Wänden für die zusätzliche Abschirmwirkung von 10 dB(A) – also eine wahrgenommene Halbierung des Lärms am Immissionsort – sind in Tabelle 6 für die Lärmschutzwand und den Lärmschutzwall dargestellt. Basis ist die bereits genannte vereinfachende Berechnung, die bei langen, geraden Straßen mit einer Länge von mindestens  $2 \cdot l_z^1$  mit Regelquerschnitten nach RLS-90 [11] angewendet wird:

$$L_r(s_{\perp,0}, H) = L_{m,E} + D_{s_{\perp,0}} + D_{z_{\perp}} - K$$

wobei:

- $L_{m,E}$ : Emissionspegel nach 4.4.1.1 der RLS-90
- H: Höhe des Immissionsortes über der Straßenebene
- $D_{s_{\perp,0}}$ : Pegeländerung durch unterschiedlichen horizontale Abstände (Diagramm VIII in RLS-90)
- $D_{z_{\perp}}$ : Abschirmmaß nach den Diagrammen IX bis XVI nach RLS-90
- K: Zuschlag K für erhöhte Störwirkung von lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Einmündungen

Angenommen, ein am Immissionsort vorhandener Lärmpegel soll um 10 dB(A) gesenkt werden, weil z. B. eine Lärmsanierung in Betracht gezogen wird. Folgende Annahmen werden in diesem Beispiel getroffen:

- Es gibt keine Kreuzung oder Einmündung, deswegen kein Zuschlag K
- Der Emissionspegel ergibt beispielhaft zu ca. 69 dB(A).
- Der Immissionsort befindet sich 5 m ( $H = 5$  m) über dem Emissionsort.
- Der Immissionsort ist 50 m ( $s_{\perp,0} = 50$  m) entfernt vom Emissionsort.
- Abschirmung durch Distanz ergibt  $D_{s_{\perp,0}} = 1,7$  dB(A).
- Der Immissionspegel am Haus beträgt dann ca. 67,3 dB(A).
- Um eine Reduzierung des Pegels am Immissionsort um 10 dB(A) auf ca. 57,3 dB(A) zu erreichen, müsste eine Lärmschutzwand an der Straße / Lärmquelle 4,8 m hoch, ein Lärmschutzwall für den gleichen Effekt 5,8 m hoch gebaut werden.
- Die Länge des dafür notwendigen Walls oder der notwendigen Wand errechnet sich zu 392 m.

---

<sup>1</sup>  $l_z = 48 \frac{s_{\perp}}{\sqrt{100 + s_{\perp}}}$

**Tabelle 6:** Beispielhafte Höhen  $h$  eines Lärmschutzwalls bzw. einer Lärmschutzwand mit einer Abschirmwirkung  $D_{s_{L,o}}$  von 10 dB(A) für verschiedene Abstände zur Lärmquelle

Horizontaler Abstand zur Lärmquelle $s_{L,o}$	Abschirmung aus Distanz zur Lärmquelle $D_{s_{L,o}}$	Länge des Walls oder der Wand	Lärmschutzwall, RQ 37,50	Lärmschutzwand, RQ 37,50
50 m	- 1,7 dB(A)	392 m	5,8 m	4,8 m
100 m	- 5,1 dB(A)	679 m	5,9 m	4,9 m
200 m	- 9,0 dB(A)	1.108 m	6,5 m	5,2 m

Je weiter der Immissionsort entfernt ist, desto höher und breiter muss also eine bauliche Maßnahme für eine relative Veränderung von 10 dB(A) am Immissionsort sein, wenn eine Lärmsanierung betrachtet wird. Der Unterschied der Höhen von Wall und Wand wird auch mit der Distanz zur Lärmquelle größer und bewegt sich im obigen Beispiel zwischen 1 und 2 m. Hier nicht dargestellt aber trotzdem vermerkt sei, dass die erforderlichen Höhen der baulichen Maßnahmen für die gleiche Wirkung ansteigen, je höher der Immissionsort über der Lärmquelle liegt.

Natürlich wird im Rahmen der Planung die Wandhöhe oder Wallhöhe, die benötigt wird, um einen bestimmten Immissionswert zu erreichen, konkret berechnet.

## 5.2 Kosten verschiedener baulicher Lösungen

In der Statistik des Lärmschutzes an Fernstraßen des Bundes 2010 [1] werden Ausgaben, Arten und Abmessungen von Lärmschutzmaßnahmen von 1978 bis 2010 aufgeführt. Im Jahr 2010 wurden in Summe 122,6 Mio. € für die Lärmvorsorge und weitere 40,7 Mio. € für die Lärmsanierung ausgegeben. Die nachfolgende Tabelle 7 fasst die wichtigsten Informationen der Statistik nach Art der Lärmschutzmaßnahmen zusammen.

**Tabelle 7:** Kostenvergleich unterschiedlicher baulicher Lärmschutzmaßnahmen

	Lärmschutzwall		Lärmschutzwände		Steilwälle	
	2010	1978-2010	2010	1978-2010	2009	1982-2010
<b>Längen</b>	22,41 km	1.120 km	49,13 km	2.221 km <sup>1)</sup>		71,9 km
<b>Flächen</b>	—	—	241.941 m <sup>2</sup>	8,19 Mio m <sup>2</sup>	6.240 m <sup>2</sup>	330.038 m <sup>2</sup>
<b>Massen</b>	1,67 Mio m <sup>3</sup>	47,47 Mio m <sup>3</sup>	—	—		
<b>Kosten</b>	19,12 Mio €	362,75 Mio €	83,55 Mio €	2.192,56 Mio €	1,35 Mio €	107,94 Mio €
<b>Ø Kosten</b>	11 €/m <sup>3</sup> <sup>2)</sup>	8 €/m <sup>3</sup> <sup>2)</sup>	—	—	—	—
	4 m <sup>3)</sup> hoch	77 €/m <sup>2</sup>	—	345 €/m <sup>2</sup>	217 €/m <sup>2</sup>	327 €/m <sup>2</sup>
	6 m <sup>3)</sup> hoch	110 €/m <sup>2</sup>	—			
	8 m <sup>3)</sup> hoch	143 €/m <sup>2</sup>	—			

<sup>1)</sup> 73,92 km Wände wurden im Jahr wieder abgerissen, ursprünglich gebaut 2.295 km

<sup>2)</sup> Durch Einsatz von HMV-Asche wäre abh. von den Randbedingungen eine Reduzierung auf bis zu 0 €/m<sup>3</sup> möglich (siehe Abschnitt 6)

<sup>3)</sup> Preise bezogen auf 1 m<sup>2</sup> wirksame Abschirmfläche

Die meisten Lärmschutzmaßnahmen erfolgen mit Lärmschutzwänden. Die Länge der Wände ergibt summiert eine Strecke von 2.221 km – doppelt so viel wie die Länge der gebauten Wälle im gleichen Zeitraum. Steilwälle machen nur einen geringen Prozentsatz der aktiven Lärmschutzmaßnahmen aus.

Lärmschutzwälle sind mit Werten von 77 bis 143 €/m<sup>2</sup> bei Höhen von 4 m bis 8 m wesentlich preisgünstiger als Lärmschutzwände mit durchschnittlichen Kosten von 345 €/m<sup>2</sup>.

Neben der monetären und betriebswirtschaftlichen Bewertung müssen die jeweiligen Vor- und Nachteile der Systeme abgewogen werden.

So muss z. B. für einen Lärmschutzwall eine ausreichende Grundfläche neben der entsprechenden Straße oder Bahntrasse zur Verfügung stehen. Außerdem ist die Höhe eines Walls aufgrund des erweiterten Abstands zur Schallquelle bei gleichem Wirkungsgrad im Vergleich zur Wand höher und die Bauzeit länger als bei einer Lärmschutzwand. Dafür bietet der Wall im Gegenzug eine ideale Einbindung ins Landschaftsbild, hat eine extrem lange Lebensdauer, ist ein guter Pflanzenstandort und schafft neue Lebensräume für Pflanzen und Tiere.

Lärmschutzwände sind auch bei geringem Platzangebot realisierbar und können sehr nah an der Schallquelle errichtet werden, was einen hohen Effizienzgrad der Schalldämmung bedeutet. Unterschiedliche Materialien sorgen für eine hohe architektonische Freiheit. Als Nachteil sind die Verschmutzungsanfälligkeit (Rostfahnen, Graffiti) und die eingeschränkte Lebensdauer zu nennen. So wurden z. B. im Jahr 2010 ca. 74 Kilometer Lärmschutzwände abgerissen. Eine weitere Herausforderung besteht bei Lärmschutzwänden besonders in der Gestaltung der den Anwohnern zugewandten Seite.

Aus gestalterischen Gründen sollte laut [1] bei der Wahl von baulichen Lärmschutzmaßnahmen von folgender Rangfolge ausgegangen werden:

- Lärmschutzwall
- Kombination Lärmschutzwall / Lärmschutzwand; Lärmschutzwall/Steilwall
- Steilwall
- Lärmschutzwand

Die Abwägung der entsprechenden Vor- und Nachteile muss im Zuge der Projektplanung erfolgen. Die Entscheidung für das „richtige“ System ist stark von den lokalen Gegebenheiten und damit einer individuellen Betrachtung abhängig.

## **6 Lärmschutzmaßnahmen mit Ersatzbaustoffen**

Lärmschutzwälle – mit oder ohne aufgesetzte Lärmschutzwand oder unter Einsatz von Geogittern, die eine steilere Böschung und damit schmalere Bauweise ermöglichen – können unter Einsatz von Ersatzbaustoffen wie Bodenaushub, Bauschutt, Recycling-Baustoff oder Hausmüllverbrennungssasche (HMV-Asche) erstellt werden.

### **6.1 Voraussetzungen für das System**

Einsatzmöglichkeiten von Baustoffen, die der Wiederverwertung unterliegen, werden durch gesetzliche Vorgaben und Regelwerke zur Technologie und Ökologie festgelegt. Dabei stehen der Schutz des Grundwassers und des Bodens im Vordergrund.

Die Anwendung von Ersatzbaustoffen im Wallbau ist bezüglich der ökologischen Rahmenbedingungen länderspezifisch geregelt. Die meisten Bundesländer arbeiten in Anlehnung an die Mitteilungen 20 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [7, 8]. In Bundesländern wie z. B. Nordrhein-Westfalen gelten zurzeit bezüglich der wasserwirtschaftlichen Merkmale und der Einbaubedingungen von Recyclingbaustoffen und Hausmüllverbrennungssaschen die folgenden Gem.RdErlasse des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr und des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 9.10.2001:

- Güteüberwachung von mineralischen Stoffen im Straßen- und Erdbau [4]
- Anforderungen an den Einsatz von mineralischen Stoffen aus Bautätigkeiten (Recycling-Baustoffe) im Straßen- und Erdbau [3]
- Anforderungen an die Güteüberwachung und den Einsatz von Hausmüllverbrennungssaschen im Straßen- und Erdbau [5]

Die bautechnischen Anforderungen an Recycling-Baustoffe und HMV-Asche für die Verwendung im Lärmschutzwall werden im Regelwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) umfangreich beschrieben. Für Details hierzu sei auf das „Handbuch Ersatzbaustoffe – Grundlagen für den Einsatz von RC-Baustoffen und HMV-Aschen“ [10] verwiesen.

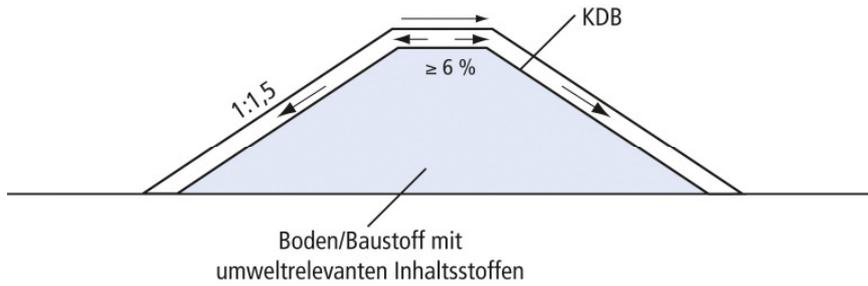
Im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben und Regelwerke ist der Bau von Lärmschutzwällen mit Ersatzbaustoffen zulässig, wenn folgende Rahmenbedingungen eingehalten werden:

- Lage der Baumaßnahme außerhalb von Wasser-, Heilquellenschutzgebieten und Überschwemmungsgebieten sowie außerhalb hydrogeologisch günstiger Gebiete wie z. B. Karstgebiete
- Einbau ausschließlich bei Ausführung mit definierten sicherungstechnischen Maßnahmen
- Abstand zwischen höchstem zu erwartenden Grundwasserstand und der Schüttkörperbasis von mindestens 1,0 m
- Mindestabstand zu korrosionsanfälligen Gebäuden von 0,5 m

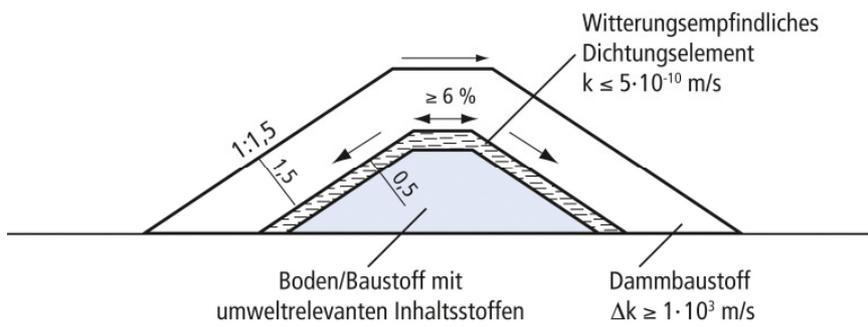
### **6.2 Ausführung**

Die Ausführung eines Lärmschutzwalls unter Verwendung von HMV-Asche erfolgt in Übereinstimmung mit den technischen Vorgaben des „Merkblatts über Bauweisen für technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau M TS E“ [9] bzw. der Mitteilung 20 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [7, 8] sowie den Gem.Rd.Erlassen NRW [3, 4, 5]. Die dort genannten technischen Sicherungsmaßnahmen ermöglichen den Einsatz von unterschiedlichen Ersatzbaustoffen bei gleichzeitig hoher Sicherheit für Grundwasser- und Bodenschutz. Es folgen jeweils zwei Beispiele mit der Bauweise nach LAGA M20 [7, 8] (Abbildungen 5a und 5b) und nach den Gem.RdErlassen NRW [3, 4, 5] (Abbildungen 6a und 6b).

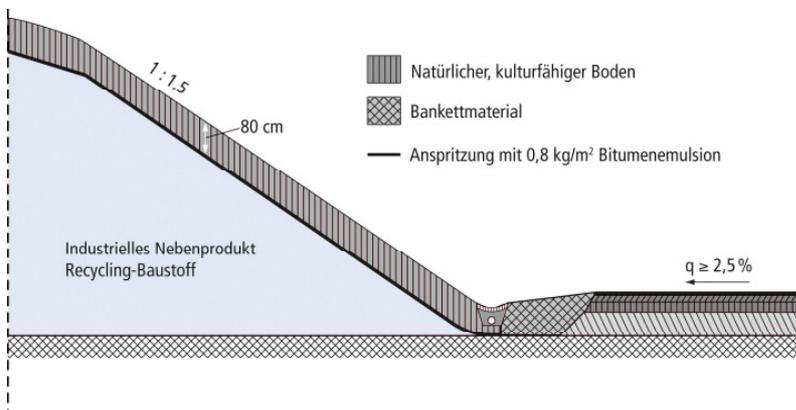
**Abbildung 5a:** Beispiel nach MTSE – Wall mit witterungsunempfindlicher Dichtung (z. B. Kunststoffdichtungsbahn)<sup>5</sup>



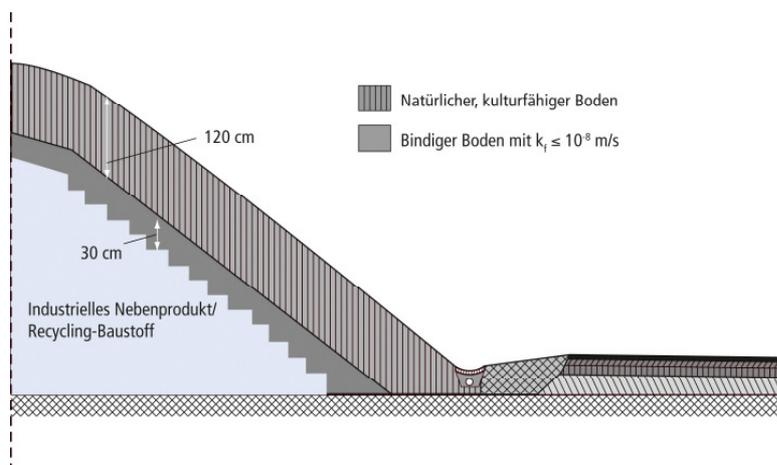
**Abbildung 5b:** Beispiel nach MTSE – Wall mit witterungsempfindlicher Dichtung (z. B. mineralische Abdichtung mit Ton)<sup>6</sup>



**Abbildung 6a:** Lärmschutzwall, Anspritzung mit Bitumenemulsion und Abdeckung mit natürlichem/kulturfähigem Boden – Beispiel nach Gem.RdErlassen NRW<sup>7</sup>



**Abbildung 6b:** Lärmschutzwall, Abdeckung mit natürlichem/kulturfähigem Boden – Beispiel nach Gem.RdErlassen NRW<sup>8</sup>



Im Rahmen der individuellen Planung eines Erdwalls werden die technischen Sicherungsmaßnahmen genau festgelegt. Hier kann die zuständige Gemeinde bzw. der Auftraggeber auch für den konkreten Fall detailliert definieren, wie diese Maßnahmen aussehen sollen.

Für die Bauausführung sollte ein Qualitätssicherungssystem eingeführt werden, welches folgende Punkte umfassen sollte:

- Führung eines Betriebstagebuchs
- Gutachterliche Überwachung und Überprüfung der genauen Art, Menge und Herkunft der verwendeten Materialien
- Dokumentation der Einbauorte der verschiedenen Ersatzbaustoffe
- Qualitätsüberwachung mittels Eigen- und Fremdüberwachung

Der Auftraggeber kann zusätzlich ein unabhängiges Ingenieurbüro beauftragen, welches während der gesamten Bauphase die Ausführung überwacht.

Für die spätere Renaturierung bzw. Bepflanzung des Walls erfolgt im Rahmen der Fertigstellung eine Abdeckung mit Naturmaterial entsprechender Dicke wie in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Bei vielen Wällen wird mit der Fertigstellung des Walls auch ein Naherholungsgebiet für Freizeitsportler oder ein Rad- und Wanderweg angelegt, so dass in Folge der Maßnahme ehemals nicht genutzte kommunale oder städtische Flächen wiederbelebt werden. Nicht selten entwickelt sich dieses Gebiet mit der Zeit zu einem Landschaftsschutzgebiet, in dem sich möglicherweise selten gewordene Flora und Fauna wieder ansiedelt.

### 6.3 Ökonomische Aspekte von HMV-Asche im Erdwall

Bürger bzw. Kommunen bezahlen Gebühren für die Entsorgung von Hausmüll, der anschließend in Abfallverbrennungsanlagen thermisch behandelt wird. Im Rahmen des Verbrennungsprozesses fällt Rohasche an. Spezialisierte Aufbereitungsfirmen erhalten von den Betreibern der Verbrennungsanlagen Geld für die Entsorgung der Rohasche. Wird die Rohasche zu Baustoff aufbereitet und im Lärmschutzwall oder Straßenbau eingesetzt, wird der finanzielle Vorteil an den Auftraggeber bzw. an die Kommune in Form von verringerten Baukosten weitergegeben.

Ein Beispiel: Die Kommune bzw. der Betreiber des Walls erwirbt das Grundstück an dem entsprechenden Verkehrsweg. Der Betreiber erhält für jeden  $\text{m}^3$  verbaute HMV-Asche ein Entgelt vom Baustofflieferanten. Dieses

Entgelt kann abhängig von den entsprechenden Transportkosten mehrere Euro pro m<sup>3</sup> betragen. Die Kosten für Vorerkundungen, für den Grundstückserwerb, für Infrastrukturmaßnahmen, Planungsleistungen oder Genehmigungen werden entsprechend für jedes Objekt gegen diese Einnahmen gerechnet. Somit kann der Wall in Summe ohne oder mit nur geringer Belastung des kommunalen Budgets gebaut werden.

Weiterhin kann die Stadt oder Gemeinde ihre im Jahresverlauf anfallenden Mengen von Böden und Bauschutt aus städtischen Maßnahmen zusätzlich für den Wallbau einsetzen. Vorteil: Geringere Entsorgungskosten bei gleichzeitig konstantem Baufortschritt durch den Einsatz der kontinuierlich anfallenden HVM-Asche aus der lokalen Müllverbrennung.

Nach der Fertigstellung des Erdwalls wird die Infrastruktur zurückgebaut, der Wall renaturiert und dann der zuständigen Gemeinde übergeben. Ein solcher Wall hat eine fast unbegrenzte Lebensdauer und müsste nur verändert werden, wenn entsprechende Verkehrsmaßnahmen wie z. B. eine Straßenverbreiterung oder Trassenverlegung dies erfordern sollte..

#### **6.4 Renaturierung und Bepflanzung von Lärmschutzwällen**

Die FGSV Veröffentlichung „Empfehlungen für die Gestaltung von Lärmschutzanlagen an Straßen“ [2] beschäftigt sich unter anderem mit dem Thema Bepflanzung von Lärmschutzwällen und -wänden. Die optische Wahrnehmung von Lärmschutzanlagen unterscheidet sich danach für Fahrer, Beifahrer und Anwohner. Für Fahrer sind sie ein Teil des Straßenraums, der in seiner groben Gestaltung wahrgenommen wird. Beifahrer nehmen schon Details wie Art der Bepflanzung oder vorhanden Verschmutzung durch Graffiti wahr – abhängig von der Geschwindigkeit. Für Anlieger ist die Lärmschutzanlage Teil des täglichen Lebens, die Oberflächengestaltung wird bewusst und bis ins Detail wahrgenommen.

Einer der größten Vorteile eines Lärmschutzwalls ist die Tatsache, dass der Wall sich aufgrund seiner Form und Bepflanzung ideal ins Landschaftsbild einfügt und somit nicht mehr bewusst als Fremdkörper wahrgenommen wird wie vielleicht andere Lärmschutzsysteme.

Für die Bepflanzung eines Lärmschutzwalls ist laut [2] ein Bepflanzungsplan aufzustellen. Bei der Auswahl der Bepflanzung sind – wie bei der Planung von Garten oder Parkanlagen – die Lage und Standortfaktoren zu beachten. Wichtige Kriterien sind:

- Gestaltungsziel unter Beachtung des Orts- und Landschaftsbildes und dem Erscheinungsbild zur Straße bzw. zur Anwohnerseite und der benachbarten Flächennutzung
- Spezifische Wuchseigenschaften der Gehölze: Pflanzen sollte nicht in den Verkehrsraum hineinwachsen
- Wasserbedarf, Sonneneinstrahlung und Schattenwurf
- Höhe, Neigung und Ausrichtung der zu bepflanzenden Anlage
- Mögliche Erosionsgefährdung
- Immissionen: Pflanzen sind den Abgasen von Kraftfahrzeugen und den darin enthaltenen gasförmigen Schadstoffen ausgesetzt und müssen entsprechend widerstandsfähig sein
- Belastungen: Staub, Asche und Ruß aus Reifen und Fahrbahnabrieb kann Boden und Pflanzen mit entsprechenden Schichten belegen. Zusätzlich sind die Böden, Pflanzen, Sträucher und Bäume an Straßen jeden Winter einer erhöhten Salzbelastung aus Taumitteln ausgesetzt
- Unterhaltungsaufwand: Ziel ist ein möglichst geringer Pflegeaufwand; der Pflanzenbestand sollte sich idealerweise nach entsprechender Entwicklungspflege selbst regulieren

Schon in der Planungsphase sollte die spätere Renaturierung und Pflanzenauswahl festgelegt werden, da dies bei einem Wall unter anderem Einfluss auf die Böschungsneigung und die Dicke und Zusammensetzung (z. B. Wasserrückhaltevermögen) der obersten Erdschicht haben kann.

## **7 Zusammenfassende Betrachtung und Fazit**

Laut einer repräsentativen Umfrage von 2010 des Umweltbundesamtes [12] fühlen sich 11 % der Bevölkerung vom Straßenverkehr äußerst oder stark belästigt.

Das Umweltbundesamt geht davon aus, dass oberhalb eines Immissionspegels von tagsüber 65 dB(A) und nachts 55 dB(A) außen das Risiko für eine Gesundheitsgefährdung ansteigt [13]. Modellrechnungen kommen hiernach zu der Schlussfolgerung, dass in Deutschland ca. 13 Mio. Einwohner einem erhöhten gesundheitlichen Risiko aufgrund von Lärm ausgesetzt sind.

Die Veröffentlichung „Leben mit Lärm?“ [6] von 2006 aus der Reihe „Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung“ der Europäischen Akademie nimmt sogar an, dass schon ein genereller Dauerschallpegel von 55 dB(A) außerhalb der Wohnung erhebliche Kommunikationsstörungen verursachen kann.

Aktuell sind die Grenzwerte für die Lärmvorsorge für Neu- und Ausbau von Straßen mit ca. 57 dB(A) bzw. 59 dB(A) tagsüber und 47 dB(A) und 49 dB(A) sehr nah an dem Ziel der Gesundheitsvorsorge.

Aber das Thema der Lärmsanierung an existierenden Verkehrswegen ist noch durchaus problematisch. Die Werte für die Auslösung entsprechender Maßnahmen an bestehenden Straßen und Lärmquellen liegen trotz der Anpassung von 2009 durch das zweite Lärmschutzpaket weiterhin bis zu 10 dB(A) über den Grenzwerten der Lärmvorsorge und damit in möglicherweise gesundheitsschädlichen Bereichen.

Das heißt auch, dass zwar beim Bau neuer Straßen und Straßenerweiterungen die strengeren Vorgaben zum Schutz vor Lärm gelten, aber dass Anwohner an existierenden Verkehrswegen mit höheren Lärmbelastungen leben müssen und kein Anrecht auf Sanierung haben. Hier wird weiterhin eine gefühlt doppelte Belastung der Anwohner von bestehenden Straßen in Kauf genommen.

Bei Bundesfernstraßen muss ohne bauliche Maßnahmen davon ausgegangen werden, dass „gesunde“ Immissionsgrenzwerte erst in einer Distanz von 700 m eingehalten werden. Anwohner allgemeiner Wohngebiete, die näher an einer Autobahn leben und bei denen kein baulicher Schutz vorgenommen wird, unterliegen mit großer Wahrscheinlichkeit also einer Lärmbelastung, die durchaus die Gesundheit gefährden kann.

Nach offizieller Statistik sind Wälle die günstigste aktive Lärmschutzvariante. Lärmschutzwände sind bis zu drei Mal so teuer – abhängig von den verwendeten Materialien – und haben nur eine eingeschränkte Lebensdauer. Allerdings müssen Wälle im Vergleich höher gebaut werden und kommen nur in Betracht, wenn neben dem entsprechenden Verkehrsweg genug Grundfläche für den Bau eines Walls vorhanden ist.

Wird HMV-Asche als Kernmaterial eines Lärmschutzwalls eingesetzt, können die Kosten der Lärmschutzmaßnahme abhängig von den Randbedingungen auf Null gesenkt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Lage der Baumaßnahme die umweltrelevanten Vorgaben erfüllt und der Wall mit entsprechend definierten technischen Sicherungsmaßnahmen geplant und ausgeführt wird.

Öffentliche Haushalte müssen sparen und können deswegen selten Lärmschutzmaßnahmen ergreifen, wenn Grenz- oder Auslösewerte nicht erreicht werden. Deswegen ist es einerseits aus Gründen der Gerechtigkeit wünschenswert, dass die Auslösewerte für Lärmsanierung weiter nach unten angepasst werden. Parallel dazu könnte der stärkere Einsatz wieder verwertbarer Baustoffe im Lärmschutz ein Lösungsansatz sein, da die Kostenreduktion erheblich sein kann. Natürlich sind die lokalen Gegebenheiten individuell zu prüfen, aber es erscheint sinnvoll, die öffentliche Diskussion über diese Möglichkeit zu führen. Denn die Situation der zurzeit benachteiligten Anwohner existierender Verkehrswege könnte dadurch sichtlich verbessert werden.

Als Vorbild kann in diesem Zuge der Bau von zwei Erdwällen in Kassel-Oberzwehren und Kassel-Nordshausen dienen, bei dem der Träger der Baumaßnahme das Garten- und Umweltamt der Stadt Kassel ist. Hier wurde in Zusammenarbeit mit Anwohnern, Stadt und Industrie erreicht, dass die Erdwälle unter Verwendung von HMV-Asche mit sehr geringer bzw. ohne Belastung des öffentlichen Budgets gebaut werden können. Ein Erfahrungsaustausch könnte hier ein Startpunkt für andere Kommunen und Städte sein, die sich der gleichen Herausforderung einer zu hohen Lärmbelastung gegenüber sehen.

**Autor:**

Dipl.-Ing. Astrid Onkelbach MSc  
Produktmanagement und Marketing granova  
REMEX Mineralstoff GmbH  
Hamburger Straße 6  
40221 Düsseldorf  
Email: [astrid.onkelbach@remex.de](mailto:astrid.onkelbach@remex.de)

---

**Endnoten:**

<sup>1</sup> Kloepfer et al.: Leben mit Lärm?, Abb. D.5, S. 176

<sup>2</sup> Kloepfer et al.: Leben mit Lärm?, Abb. D.8, S. 179

<sup>3</sup> Kloepfer et al.: Leben mit Lärm?, Abb. D.9, S. 180

<sup>4</sup> RLS-90, 1992, Bild 2

<sup>5</sup> M TS E, 2009, Bild 5

<sup>6</sup> M TS E, 2009, Bild 2

<sup>7</sup> Gem.RdErlass NRW: Anforderungen an die Güteüberwachung und den Einsatz von Hausmüllverbrennungsgaschen im Straßen- und Erdbau, Bild 4

<sup>8</sup> Gem.RdErlass NRW: Anforderungen an die Güteüberwachung und den Einsatz von Hausmüllverbrennungsgaschen im Straßen- und Erdbau, Bild 5

---

### **Literatur:**

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.]: Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2010. [www.bmvbs.de](http://www.bmvbs.de), Bonn, 2011
- [2] Empfehlungen für die Gestaltung von Lärmschutzanlagen an Straßen. Ausgabe 2005, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, 2005
- [3] Gem.RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr v. 09.10.2001: Anforderungen an den Einsatz von mineralischen Stoffen aus Bautätigkeiten (Recycling-Baustoffe) im Straßen- und Erdbau. Ministerialblatt (MBI. NRW.) Ausgabe 2001 Nr. 76 vom 3.12.2001, Seite 1493 bis 1506
- [4] Gem.RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr v. 09.10.2001: Güteüberwachung von mineralischen Stoffen im Straßen- und Erdbau. Ministerialblatt (MBI. NRW.) Ausgabe 2001 Nr. 78 vom 13.12.2001, Seite 1525 bis 1534
- [5] Gem.RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr v. 09.10.2001: Anforderungen an die Güteüberwachung und den Einsatz von Hausmüllverbrennungsaschen im Straßen- und Erdbau. Ministerialblatt (MBI. NRW.) Ausgabe 2001 Nr. 77 vom 4.12.2001, Seite 1507 bis 1524
- [6] Klopfer, M. et al.: Leben mit Lärm? Risikobeurteilung und Regulation des Umgebungslärms im Verkehrsbereich. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2006
- [7] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [Hrsg], Mitteilung M20 (LAGA M20): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen – Technische Regeln – Stand: 6. November 1997. Erich Schmidt Verlag, Neuburg, 1998
- [8] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [Hrsg], Mitteilung M20 (LAGA M20): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen – Technische Regeln – Allgemeiner Teil, Überarbeitung vom 6.11.2003, [www.laga-online.de](http://www.laga-online.de), Mainz, November 2003
- [9] Merkblatt über Bauweisen für technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau M TS E. Ausgabe 2009, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, Februar 2009
- [10] Onkelbach, A.: Handbuch Ersatzbaustoffe – Grundlagen für den Einsatz von RC-Baustoffen und HMV-Aschen. REMEX Mineralstoff GmbH [Hrsg.], Düsseldorf, 2012
- [11] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90. Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, Februar 1992
- [12] Umweltbundesamt [Hrsg.]: Lärmbelastigung der Bevölkerung nach Geräuschquellen 2010. [www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten](http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten)
- [13] Umweltbundesamt [Hrsg.]: Kardiovaskuläre Erkrankungen durch Verkehrslärm. [www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten](http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten)