

Optimaler Lärmschutz dank akustischer Modellmessung: Simulation schallabsorbierender Verkleidungen für einen Autobahnabschnitt der A1 bei Neuenhof

Autor(en): **Eggenschwiler, Kurt / Heutschi, Kurt / Lüthi-Freuler, Nicole**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **127 (2001)**

Heft 7: **Lärm**

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80120>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



1

Der Autobahnabschnitt bei Neuenhof im Dezember 2000:
Bauarbeiten sind voll im Gang

Kurt Eggenschwiler, Kurt Heutschi, Nicole Lüthi-Freuler

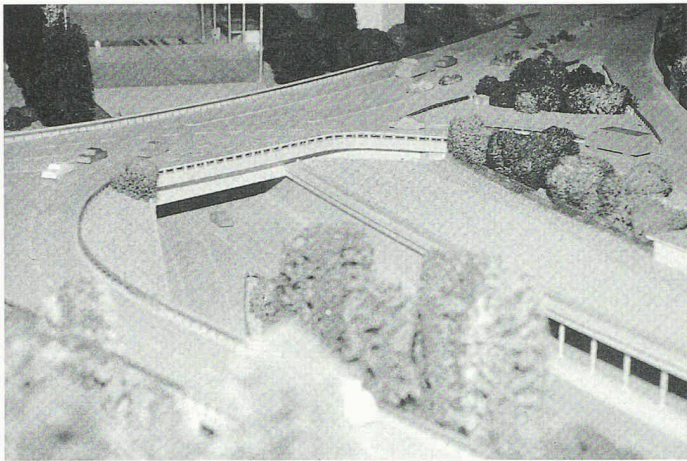
Optimaler Lärmschutz dank akustischer Modellmessung

Simulation schallabsorbierender Verkleidungen für einen Autobahnabschnitt der A1 bei Neuenhof

Um den Einsatz schallabsorbierender Verkleidungen an einem Bauwerk zu planen, kann die Originalsituation rechnerisch oder in einem physikalischen Modell simuliert werden. Numerische Verfahren stossen jedoch bei komplizierter und grossräumiger Schallausbreitung an Grenzen. Die bewährte akustische Modellmesstechnik, kombiniert mit modernsten Analysemethoden, kommt dann zum Zug.

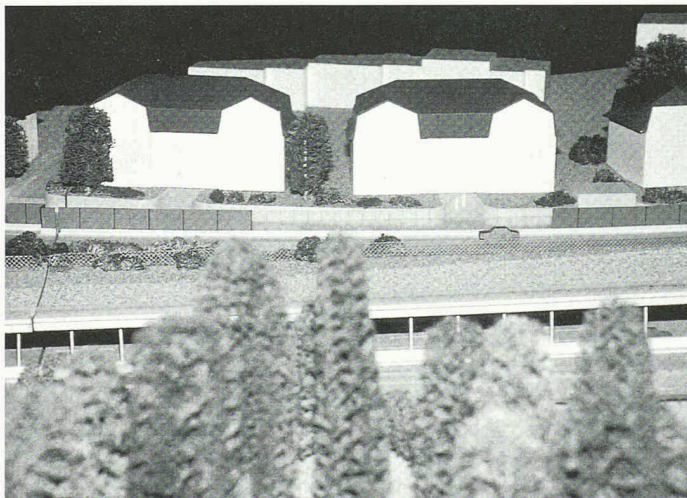
Die Lärmimmissionen in der Umgebung der Autobahn A1 bei Neuenhof sind hoch, und die Verkehrsdichte steigt permanent. Weil dieser Autobahnabschnitt in Tieflage verläuft, kann der Lärmschutz durch eine Überdeckung und Teilüberdeckung realisiert werden. Zwischen einer Strassen- und einer Eisenbahnbrücke soll die A1 auf einer Länge von 330 m vollständig überdeckt werden (Bild 1 und 2). Zusätzlich wird die Fahrspur nach Zürich westlich der Vollüberdeckung mit einer Lärmschutzgalerie von 310 m Länge versehen (Bild 2 und 3). Baubeginn für das Projekt Lärmschutz Neuenhof war der Sommer 2000.

Einmal gebaut, wird der Tunnel das Lärmproblem entschärfen. In den Portalbereichen der Überdeckung und in der einseitig offenen Galerie muss jedoch mit erhöh-



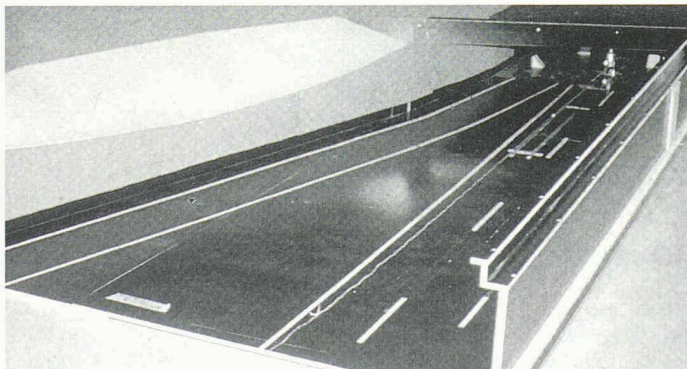
2

Blick auf den Portalbereich West und einen Teil der Galerie
(Architekturmodell: Knecht und Partner, Wettingen)



3

Die Autobahn-Galerie mit Blick aus Norden
auf ein Wohngebiet



4

Blick vom Dach der Galerie auf den Portalbereich West (physikalisches Modell). Rechts oben ist ein kurzes Stück vom Tunnel sichtbar, der auf einer Länge von 70 m (im Modell rund 4,5 m) nachgebaut wurde

ter Lärmemission gerechnet werden. Deshalb sind schallabsorbierende Verkleidungen geplant, um Lärmpegelerhöhungen auf Grund von Reflexionen möglichst gering zu halten. Mit Berechnungsmodellen konnten die komplexen Ausbreitungsverhältnisse des Strassenlärms bereits grob ermittelt werden. Als nächster Schritt sollten Lage und Ausmass der vorgesehenen schallabsorbierenden Verkleidung ermittelt werden. Doch numerische Verfahren¹ wie Finite Elemente oder Randelemente-Methoden vermögen die Reflexions- und Beugungserscheinungen nur ungenügend wiederzugeben. Diese Verfahren verwenden eine räumliche Diskretisierung der Situation und bestimmen eine genäherte Lösung, welche die Wellengleichung und die Randbedingungen erfüllt. Die Diskretisierung müsste im Falle von Strassenverkehrslärm mit einer Maschenweite von etwa 3 cm erfolgen. Für die konkrete Situation im Projekt Neuenhof würde dieses Vorgehen zu einer astronomischen Knotenzahl führen, die mit heutigen Rechnern nicht zu bewältigen ist. Deshalb kam die akustische Modellmesstechnik, die oft für die Planung von Konzertsälen² eingesetzt wird, zum Zug. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Methode mit modernsten Analyseverfahren erfolgreich kombiniert.

Grundlagen

Damit Rückschlüsse auf das Bauwerk möglich sind, müssen die Schallausbreitungsvorgänge in der Originalsituation und im akustischen Modell einander entsprechen. Dies ist der Fall, wenn Geometrie und Schallwellenlänge im gleichen Massstab verkleinert werden. Die Frequenz des im Modell verwendeten Schallsignals muss daher um den Faktor des Modellmassstabs erhöht werden. Auch die Reflexionseigenschaften der eingesetzten Materialien müssen – frequenztransponiert – jenen im Originalmassstab entsprechen. Für das Projekt Neuenhof wurde ein Modellmassstab von 1:16 gewählt, weil auf diese Weise der Frequenzbereich des Messverfahrens gut ausgenützt werden konnte. Die Frequenzverschiebung beträgt genau vier Oktaven.

Bei der Erstellung des Modells hat man sich auf die Flächen beschränkt, welche für die fraglichen Immissionsorte wesentlich sind (Bild 4). Für die Galerie wäre der Aufwand für eine gleichartige Modellierung zu hoch, da das Bauwerk über einen langen Abschnitt nachgebildet werden müsste, um an einem Empfängerpunkt die Immissionen der gesamten Galerie messen zu können. Eine andere Lösung kam zum Zug. Man beschränkte sich auf einen Ausschnitt längs der Fahrbahn von 5,6 m Länge – im Modell 0,35 m. An den schallharten Abschlüssen zu beiden Seiten des Modells spiegelt sich sowohl die Schallquelle als auch die Galerie ins Unendliche weiter (Bild 5). Diese Situation ist vergleichbar mit einem Phänomen beim Coiffeur: Das eigene Spiegelbild wird von zwei sich gegenüberstehenden Spiegeln unendliche Male zurückgeworfen. Im Galeriemodell wird deshalb aus einer Punktquelle eine Linienquelle. Mit der gewählten Kanalbreite von 0,35 m konnte eine genügende Dichte von Spiegelschallquellen erreicht werden. Ausserdem war ausreichend Platz für die Arbeit im Modell vorhanden.

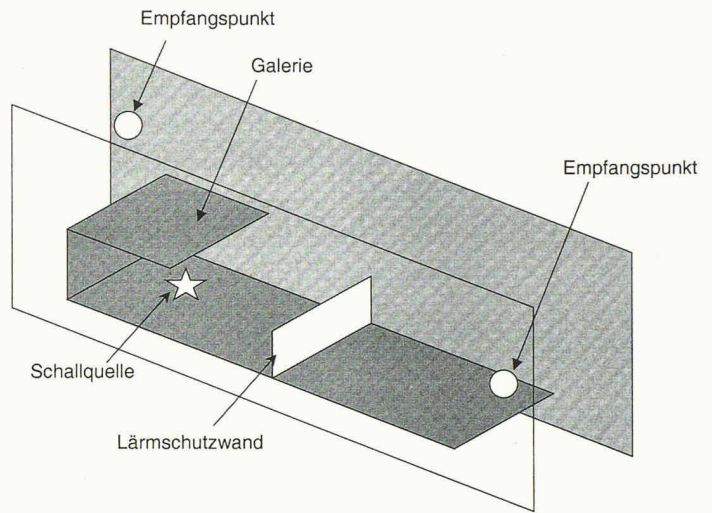
Materialien und Messverfahren

Boden, Wände und Decken der Modelle wurden aus einem schweren Holz mit stark reflektierender Oberfläche hergestellt. Für die schallabsorbierenden Verkleidungen wurde nach Messungen mit verschiedenen Schaumstoffen ein Typ ausgewählt, dessen Verhalten im akustischen Modell am ehesten dem Absorptionsverhalten des realen Materials entspricht.

Doch die Materialien für die physikalischen Modelle sind nur der eine Aspekt, die Lärmquelle ein anderer. Die Abstrahlcharakteristik der zu simulierenden Fahrzeuge wurde als rund angenommen. Dies ist eine akzeptable Näherung. Ein Lautsprecher wurde entwickelt (Bild 6), der im transformierten Frequenzbereich (4 bis 32 kHz) die Richtcharakteristik der Originalquelle genügend gut nachbildet. Der Lautsprecher besteht aus einem Piezo-Hochtonhorntreiber, der in einem Trichter arbeitet³. Die Immissionsmessungen erfolgen durch Bestimmung der Impulsantworten mittels eines Korrelationsmessverfahrens (MLS, Maximum-Längen-Sequenz⁴). In den Portalmodellen wurden die Quellen – simulierte Fahrzeuge – in regelmässigen Abständen auf der Fahrspur aufgebaut. Die Impulsantwort – der zeitliche Verlauf des Schalldrucks bei impulsförmiger Anregung – wurde punktuell bestimmt. Im Galeriemodell mit den spiegelnden Seitenwänden genügte eine Quellenposition. Zum Einsatz kam das Messsystem MLSSA von DRA Laboratories. Das Messverfahren ermöglichte eine elegante Verarbeitung der Daten: Die Luftabsorption konnte berücksichtigt, der Einfluss des Grundgeräusches abgeschätzt und Reflexionen aus dem Prüfraum eliminiert werden. Besonders beachtet wurde die starke Absorption der Luft bei hohen Messfrequenzen, die zudem stark von der Feuchte und der Temperatur abhängt. Der Verlust in der Luft beträgt beispielsweise bei 32 kHz rund 1 dB pro Meter. Diese Luftdämpfung muss abhängig vom zurückgelegten Schallweg rechnerisch kompensiert werden. Dies ist nur bei Kenntnis der Impulsantwort exakt möglich. Die zu kompensierenden Dämpfungswerte lassen sich mit der ISO-Norm 9613-1 in Funktion der Feuchte und der Temperatur bestimmen. Der Messraum liefert durch Reflexionen an den Raumbegrenzungsflächen ebenfalls Einträge in die Impulsantwort. Der Nachhall aus den Tunnelbereichen des Modells war aber genügend kurz, so dass die später eintreffenden, aus dem Prüfraum stammenden Reflexionen in der Impulsantwort weggeschnitten werden konnten. Andernfalls hätte für die Messung ins Freie ausgewichen werden müssen.

Ergebnisse und Einsparungen

Für eine Vielzahl von Verkleidungsvarianten im Portalbereich (Bild 7 und 8) und in der Galerie (Bild 8 und 9) wurde der gehörlich bewertete (A-Filter) und strassenlärmgewichtete Schallpegel ermittelt. Auf diese Weise konnten für jede Situation der optimale Ort und die notwendigen Flächen für die schallabsorbierende Verkleidung ermittelt werden. Im Vergleich zum Auflageprojekt ergaben sich aufgrund der Messresultate deutliche Einsparungen sowohl in den Investitionen (etwa



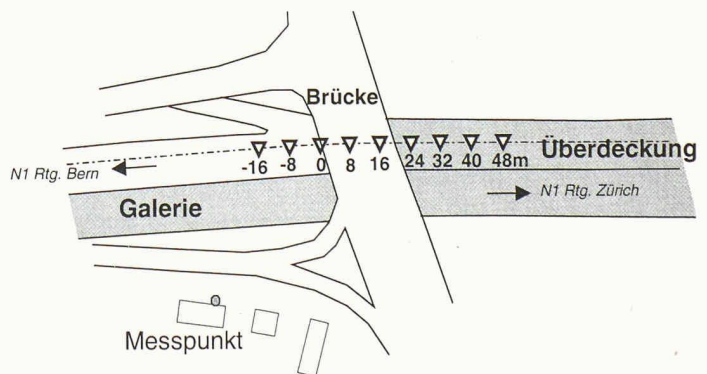
5

Das Schema der einseitig offenen Galerie (links oben) und zwei Empfangspunkte für den simulierten Lärm eines sich in der Galerie befindenden Fahrzeugs



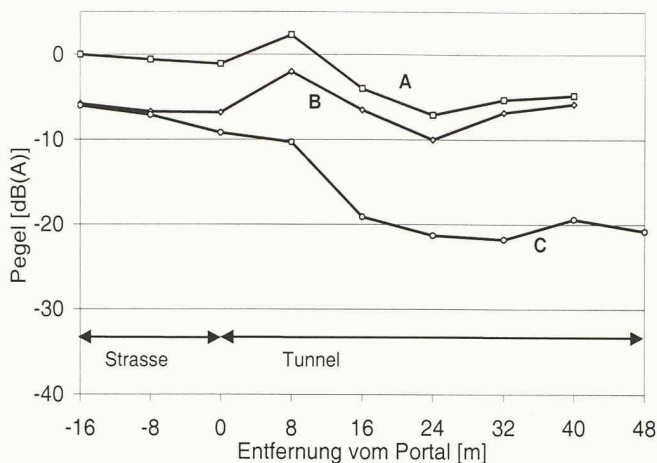
6

Ein Modelllautsprecher mit einem Durchmesser von 6,5 cm und einer Höhe von 12 cm



7

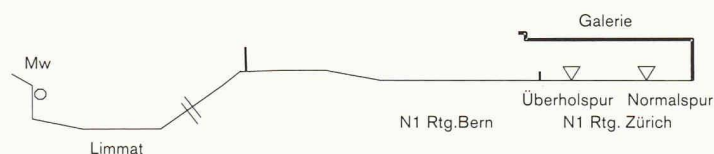
Die Lärm-Quellenpunkte und ein Messpunkt im Modellschema des Tunnel-Westportals



8

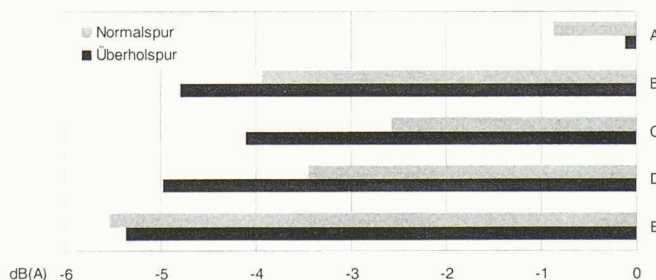
Der Lärmpegel am Messpunkt in Abhängigkeit von der Quellenposition, mit drei verschiedenen Lärmschutzmassnahmen:

- A: Nur die Untersicht der Brücke ist schallabsorbierend verkleidet
- B: Stützmauer und Mittelmauer sind verkleidet. Vor dem Portal ist der Pegel um rund 6 bis 7 dB geringer als bei A; die Emissionen aus dem Tunnel sind etwa gleich gross wie bei A
- C: Zusätzlich sind die ersten 30 m der Wände des Tunnels verkleidet; die Emissionen aus dem Tunnelinnern sind deutlich geringer



9

Querschnitt im Bereich der Galerie (siehe Bild 4) mit einem Messpunkt in Wettingen (Mw)



10

Wirkung von schallabsorbierender Verkleidung in der Galerie im Vergleich zur Situation ohne Verkleidung:

- A: Die Galerie-Decke ist schallabsorbierend verkleidet; die Wirkung ist sehr gering
- B: Die Galerie-Rückwand ist ab 1 m Höhe verkleidet; die Wirkung ist wesentlich grösser als jene der Deckenverkleidung
- C: Die Galerie-Rückwand ab 2 m Höhe ist verkleidet; im Vergleich zur Wandverkleidung ab 1 m Höhe ist die Wirkung geringer
- D: Die Galerie-Decke ist verkleidet, gleichzeitig auch die Rückwand ab 2 m Höhe
- E: Sowohl Galerie-Decke als auch Rückwand sind vollständig verkleidet; die maximal erreichbare Wirkung von schallabsorbierender Verkleidung in dieser Galerie beträgt also 5 bis 6 dB (A)

60%) als auch für den späteren Betrieb (Reinigungsarbeiten). Für die Portalbereiche erwies sich eine Verkleidung der Stützmauern und Mittelwände im Eingangsbereich als sinnvoll. Für die Tunnelwände und -decken brachte eine Verkleidung bis 30 m ab Portal ein Optimum (Bild 7 und 8). Nach Austestung verschiedener Varianten für die Galerie (Bild 9 und 10) wurde deutlich, dass bei den gegebenen Verhältnissen auf eine Verkleidung der Decke verzichtet werden kann. Die Resultate gelten jedoch nur für die Gegebenheiten in Neuenhof und können nicht verallgemeinert werden.

Fazit

Obwohl heute in der Akustik moderne numerische Verfahren zur Verfügung stehen, hat die akustische Modellmesstechnik nicht ausgedient. Im Gegenteil: Dieses anspruchsvolle Verfahren unter Einsatz moderner Messtechnik für besondere Situationen liefert Ergebnisse, die auf andere Weise nicht zu gewinnen sind. Im vorliegenden Fall ermöglichte sie die Einsparung von etwa 60% der Investitionen für akustische Massnahmen und zusätzliche Kosteneinsparungen beim Betrieb und Unterhalt.

Kurt Eggenschwiler, dipl. El.-Ing. ETH, und Kurt Heutschi, Dr., dipl. El.-Ing. ETH, Eidgenössische Materialprüfungsanstalt Empa, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf
 Nicole Lüthi-Freuler, dipl. Kult.-Ing. ETH, Grolimund & Partner AG, Rain 15, 5000 Aarau

Literatur

- 1 Heckl, M.; Heckl, M.: Methoden zur Feldberechnung, Fortschritte der Akustik, DAGA, 9-25 (1994).
- 2 Brebeck, D.: Akustisch ähnliche Modelle als Hilfsmittel für die Raumakustik, Acustica, Vol. 18: 213-226 (1967).
- 3 <http://www.empa.ch/deutsch/fachber/abt177/laerm/modellmessungen.htm>
- 4 Borish, J.; Angell, J. B.: An efficient algorithm for measuring the impulse response using pseudorandom noise, J. Audio Eng. Soc., 31, 478-487 (1982).

Bilder

Empa, Dübendorf