

Schalltechnische Verbesserung von Eisenbahnbrücken

Heinz Hoislbauer¹

¹ TAS Sachverständigenbüro für Technische Akustik SV GmbH, 4030 Linz, E-Mail: h.hoislbauer@tas.at

Einleitung

Die vorliegende Untersuchung wurde im Auftrag der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft von den Projektpartnern FCP, TAS, PsiA sowie der TU-Wien - Institut für Tragkonstruktionen durchgeführt.

Ziel der Untersuchung ist es, Grundlagen zu erarbeiten, welche zu einer besseren schalltechnischen Charakterisierung von Eisenbahnbrücken dienen und mithin als Basis für Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich Schallabstrahlung dienen können.

Grundlagen/Literatur

An Eisenbahnbrücken können gegenüber der freien Strecke deutliche Schallpegelerhöhungen auftreten. Als Ursachen werden in der Literatur die Anregung des Brückentragwerks als auch die geänderte Lagerung des Gleises genannt. Darüber hinaus können starke Unterschiede in der Schallabstrahlung von Objekt zu Objekt bestehen. Bis dato ist allerdings nicht klar, welche Einflussfaktoren zu welchen Auswirkungen führen. In der gegenständlichen Untersuchung soll anhand konkreter Messungen der Einfluss unterschiedlicher Komponenten näher untersucht und der Frage nachgegangen werden, inwieweit neue Erkenntnisse in die schalltechnische Beurteilung einfließen könnten.

Die Schallpegelerhöhungen bei Stahlbrücken können über 10 dB, in manchen Fällen bis zu 20 dB betragen, wobei es von Objekt zu Objekt starke Unterschiede geben kann.

Die erhöhte Schallabstrahlung wird in standardisierten Lärmberechnungsmodellen i. d. R. durch Erhöhung der Emission (des Rad-Schiene-Kontakts) berücksichtigt, da es aufgrund der komplexen Formen von Brücken nicht einfach ist, die Brückenemission als zusätzliche Quelle zu modellieren.

Einen Überblick über Pegelzuschläge zur Bauart der Brücke aus einschlägigen Literaturquellen gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Näherungsweise Zuordnung von Pegelzuschlägen zur Bauart der Brücke lt. Literaturquellen

Literaturquelle	Betonbrücken	Stahlbrücken	
	Schotterbett	Schotterbett	offene Fahrbahn
ONR	3 dB	3 dB	Messungen empfohlen
sonRAIL	- *)	- *)	bis 15 dB direkte Schienenbefestigung bis rd. 1000 Hz
CNOSSOS	1 dB	4 dB	-
Schall 03	3 dB	3 dB	-
16. BImSchV	3 dB bei Fahrbahnplatte aus Stahlbeton, Spannbeton, Walzträger in Beton, Doppelverbundträger oder Gewölbebrücke; Verbundbrücke aus massiver Betonfahrbahnplatte und stählernen Brückenteilen. Stählerne Überbau mit konstruktiven Maßnahmen zur Verhinderung von Resonanzen	6 dB -3 dB (bei Verwendung von Unterschottermatten)	12 dB (Gleise direkt aufgelagert) -6 dB bei hochelastischer Schienenbefestigung
VBUSch	3 dB generell	3 dB generell	-

Anm.: zur geschlossenen Fahrbahn sind keine Angaben in obigen Quellen enthalten

*) in [6] gibt es ein eigenes Emissionsmodell, Werte können hier nicht unmittelbar angegeben werden

Untersuchungen

Für Untersuchungen wurden unterschiedliche Brückentypen ins Auge gefasst. Zum Verständnis von Zusammenhängen und Wirkmechanismen sind detaillierte Untersuchungen notwendig, welche eine Einschränkung in der Objektauswahl nach sich ziehen. Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich deshalb auf Einzelobjekte. Schalltechnisch von hoher Relevanz sind v. a. Stahlbrücken (in Deckform), da für derartige Konstruktionen i. d. R. höhere Schallabstrahlungen zu erwarten sind, als bei anderen Bauweisen. Bei der Auswahl konkreter Untersuchungsobjekte spielen die Bauart der Brücke, schalltechnische Aspekte, Umgebungseinflüsse etc. eine entscheidende Rolle. Im gegenständlichen Fall wurden zwei Brückentragwerke aus Stahl in Wien näher untersucht.

Ein besseres Verständnis der Schallabstrahlung von Eisenbahnbrücken erfordert Kenntnisse darüber, welche Bereiche einer Brücke zu den wesentlichen Schallelementen zählen. Eine Einteilung der Schallabstrahlung in den Anteil, welcher direkt vom Rad-Schiene-Kontakt herrührt (Primärschall) und jenem, welcher von der Brückenkonstruktion stammt (Sekundärschall), erscheint hierbei sinnvoll.

Die Pegelerhöhung durch die Brücke wurde durch emissionsseitige Vergleichsmessung zwischen Brücke und freier Strecke ermittelt. Aufgrund der Nähe des Emissionsmesspunktes zum Gleis (7,5 m Abstand), ist anzunehmen, dass an diesem Punkt der Primärschall dominiert. An einem weiteren Messpunkt in größerer Entfernung (15 m bzw. 25 m) wurde ebenfalls der Luftschall gemessen. Für diese Entfernungen wird angenommen, dass die gemessene Schallabstrahlung der Brücke (Anteil an Primär- und Sekundärschall) bereits charakteristisch für die weitere Ausbreitung ist.

Der Sekundärschall wurde gegenständlich durch Körperschallmessung an den Stegblechen ermittelt, da davon ausgegangen wird, dass die größten Bauteilflächen die größte Relevanz hinsichtlich Sekundärschallabstrahlung haben, und diese von den Stegblechen gebildet werden.

Die Messungen erfolgten im Normalbetrieb. Zusätzlich zu den Schallpegel- und Körperschallmessungen erfolgte eine Detektion von Zugkategorie, Geschwindigkeit etc.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte fallspezifisch entweder für das Kollektiv von Fahrzeugen (beispielsweise einer Kategorie usw.) oder für einzelne Fahrzeuge. Dementsprechend können allgemeine oder gezielte Betrachtungen angestellt werden.

Der an den Stegblechen gemessene Körperschall ist in einen Luftschall umzurechnen. Der Schalldruck p errechnet sich aus der gemessenen Körperschallschnelle v unter Zugrundelegung der Luftdichte ρ , der Schallgeschwindigkeit c und dem Abstrahlgrad σ nach folgender grundlegenden Formel

$$p = \sigma \cdot \rho \cdot c \cdot v$$

Der einzige unbekannte Faktor ist der Abstrahlgrad σ . Dieser hängt i. A. vom Material, der Dicke, den Abmessungen der schwingenden Platte (Stegblech) und vor allem auch von der Frequenz ab. In größter Vereinfachung kann man ihn für alle Frequenzen gleich 1 setzen. Darüber hinaus gibt es Näherungen [11], deren Ergebnis für den gegenständlichen Fall in Abbildung 1 dargestellt ist.

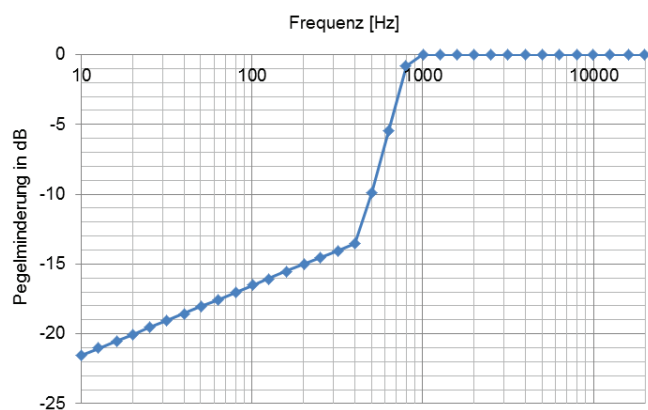


Abbildung 1: Näherung Abstrahlgrad

Nachfolgend werden beide Varianten für σ (durchgängig gleich 1 oder frequenzabhängig nach Abbildung 1) betrachtet.

Abbildung 2 zeigt eine Auswertung für Güterzüge. Hierbei sind die Ergebnisse für die Brücke, die freie Strecke, sowie für das Stegblech inkl. Standardabweichungen dargestellt. Der Abstrahlgrad wurde in Abbildung 2 frequenzabhängig berücksichtigt. In Abbildung 3 wurde der Abstrahlgrad durchgehend mit 1 angenommen.

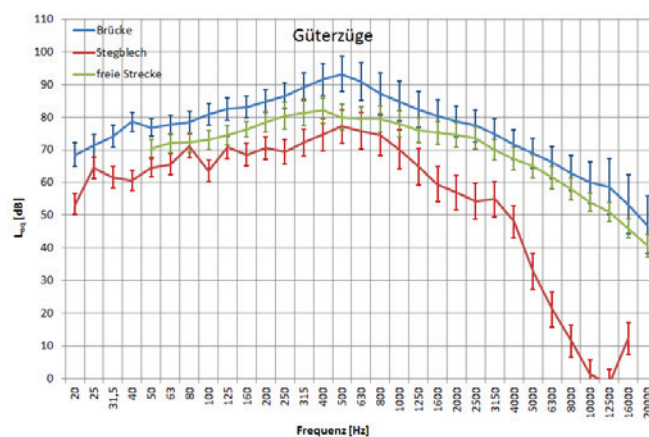


Abbildung 2: Vergleich der Schallpegel in Terzen σ frequenzabhängig

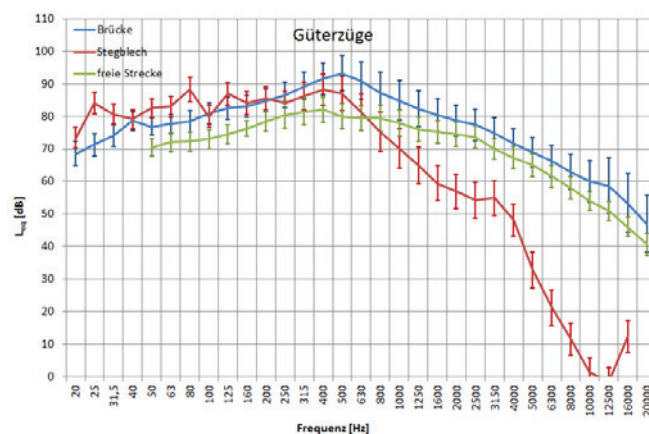


Abbildung 3: Vergleich der Schallpegel in Terzen $\sigma = 1$

Aus den Abbildungen 2 und 3 geht hervor, dass die Schallpegel im Bereich der Brücke deutlich gegenüber jenen der freien Strecke angehoben sind. Ein Vergleich mit dem in Luftschall umgerechneten Körperschall zeigt, dass dieser vor allem für die höheren Frequenzen deutlich unterhalb der Luftschallpegel liegt, welche für eine Einzahlangabe (A-Bewertung) relevant sind. Bei tieferen Frequenzen hingegen hängt der Anteil des Körperschalls davon ab, mit welcher Näherung für den Abstrahlgrad dieser berücksichtigt wird. Die Annahme eines Abstrahlgrades von 1 für alle Frequenzen zeigt in Abbildung 3 eine Überhöhung bei Frequenzen unterhalb von 250 Hz, was vermuten lässt, dass diese Annahme hier nicht mehr zutreffend ist. Vergleichsmessungen des Luftschalls direkt am Stegblech weisen ebenfalls darauf hin, dass die Annahme $\sigma = 1$ für sämtliche Frequenzen offenbar nicht gerechtfertigt ist. Somit erhärtet sich die Annahme, dass der Abstrahlgrad bei tieferen Frequenzen reduziert ist. Für die Schallabstrahlung durch Körperschall bedeutet dies, dass die Auswirkungen auf den A-bewerteten Schallpegel gering sind. Demnach sieht es danach aus, dass der Primärluftschall gegenüber dem Sekundärluftschall dominant ist.

Tabelle 2 liefert einen Vergleich der Messergebnisse mit Grundlagendaten der ONR 305011 für Güterzüge. Abweichungen zwischen den Messwerten der freien Strecke und den Werten der ONR 305011 liegen hier im Bereich bis maximal 3 dB, was hinsichtlich möglicher Unterschiede bzgl. Oberbau sowie Fahrzeugkollektiv als näherungsweise vergleichbar betrachtet werden kann. Zusätzlich sind Ergebnisse aus Messwerten an der Stahlbrücke vor und nach Schwellentausch (von Holz auf FFU Kunstholz) dargestellt. Man erkennt deutliche Pegelanhebungen an der Brücke gegenüber der freien Strecke. Für die Geschwindigkeit von 100 km/h sind die Messergebnisse extrapoliert.

Tabelle 2: Vergleich Messergebnisse mit ONR 305011 für Güterzüge

v [km/h]	L _{w'} [dB]			
	ONR 305011	freie Strecke	Brücke vor Schwellentausch	Brücke nach Schwellentausch
40	99	101	106	108
50	102	103	108	111
80	108	107	113	117
100	111	108	115	120

Vor Schwellentausch: Messwerte an Brücke vor Schwellentausch (Holzschwelle)

Nach Schwellentausch: Messwerte an Brücke nach Schwellentausch (FFU Kunstholzschwelle)

Aus den Erkenntnissen des Projekts inkl. Literaturrecherche wurden Abschätzungen für Pegelerhöhungen durch Stahlbrücken des untersuchten Typs (Deckform, direkt aufgelagertes Gleis, offene Bauweise) getroffen, wobei ein gewisser Streubereich angenommen wurde. Tabelle 3 zeigt diese Abschätzungen hinsichtlich Auswirkung auf den A-bewerteten Schallpegel für die unterschiedlichen Frequenzbereiche.

Tabelle 3: Abschätzung Pegelerhöhungen durch Stahlbrücken des untersuchten Typs (Deckform, direkt aufgelagertes Gleis, offene Bauweise) aus gegenständlicher Untersuchung und Literatur

Einflussfaktor	Pegelerhöhung *)	Frequenzbereich
kein Gleisschotter	3 bis 5 dB	breitbandig
Brückendröhnen (z. B. Stegblech)	0 bis 2 dB	20 Hz bis 250 Hz
Brückenanregung bzw. Oberbauanregung	1 bis 5 dB	250 Hz bis 1000 Hz
Oberbauanregung	2 bis 4 dB	1000 Hz bis 20000 Hz

*) Die Pegelerhöhung betrifft den vermuteten Einfluss auf den A-bewerteten Gesamtpegel und nicht die Pegelerhöhung im jeweiligen Frequenzbereich. (D. h. z. B. bei tieferen Frequenzen würde die Pegelerhöhung im entsprechenden Frequenzbereich deutlich höher sein.)

Eisenbahnbrücken werden z. Z. in der Regel als Bahnstrecken mit zusätzlichem, frequenzabhängigem Pegelzuschlag (als Erhöhung des Rollgeräusches) definiert. Der Pegelzuschlag erfolgt hierbei im Grunde als Einzahlwert, ohne Aufgliederung in unterschiedliche Zugtypen bzw. Geschwindigkeiten. Dies bedeutet eine gewisse Vereinfachung. Es ist aber zu berücksichtigen, dass Eisenbahnbrücken in punkto Schallabstrahlung unterschiedlich sind, wodurch ohnedies eine gewisse Variabilität bei der Lärmprognose vorherrscht. Daher dürfte die Vereinfachung im Modell die Prognosegenauigkeit kaum verringern. Allerdings zeigen Messungen, dass bei Eisenbahnbrücken mitunter eine Schallabstrahlung auch nach unten hin erfolgt, welche in der Prognose nicht in dieser Weise abgebildet wird, da die Brücke im Rechenmodell die Schallabstrahlung nach unten hin abschirmt. Dies hat zur Folge, dass eine Lärmschutzmaßnahme, wie z. B. eine Lärmschutzwand auf der Brücke, nicht entsprechend ihrer realen Wirkung wiedergegeben werden kann, da diese den Schall, der evtl. nach unten abgestrahlt wird, in der Praxis nicht abschirmt. Daher kann eine Lärmschutzwand in ihrer realen Wirkung stärker beschränkt sein, als dies aus der Modellrechnung hervorgeht. Daher wäre es zweckmäßig, dass zukünftig bei der Modellierung einer Eisenbahnbrücke auf Basis verbesserter Rechenmodelle diesem Umstand und eventuell weiteren Erkenntnissen Rechnung getragen wird.

Die untersuchte Messsituation wurde im Rechenmodell nachgebildet. In Abbildung 4 ist eine Schnittlärnkarte für den entsprechenden Messquerschnitt dargestellt. In Tabelle 4 ist ein Vergleich der Ergebnisse zwischen Berechnung und Messung dargestellt.

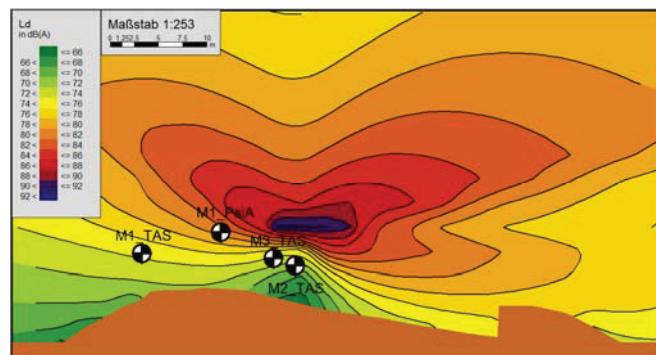


Abbildung 4: Schnittlärnkarte für den Messquerschnitt an Brücke

Tabelle 4: Vergleich Berechnung Messung

Messpunkt	Berechnung [dB]	Messung [dB]
M1_PsiA	80,7	80,7
M1_TAS	74,5	74
M2_TAS	64,9	86
M3_TAS	73,2	80,8

Tabelle 4 zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung für seitlich gelegene Messpunkte. Für Messpunkte, welche merklich tiefer als die Brücke liegen,

zeigt die Berechnung deutlich geringere Pegel, als die Messung. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass in der Berechnung der Schall nach unten hin durch die Brücke stark abgeschirmt wird, was sich in der Messung offensichtlich nicht widerspiegelt.

Literatur

- [1] ONR 305011 - "Berechnung der Schallimmission durch Schienenverkehr - Zugverkehr, Verschub- und Umschlagbetrieb"; 2009
- [2] Richtlinie (EU) 2015/996 der Kommission zur Festlegung gemeinsamer Lärmbewertungsmethoden gemäß Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates; 2015
- [3] Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen, Schall 03; 1990
- [4] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV); 1990
- [5] Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen VBUSch; 2006
- [6] sonRAIL – Projektdokumentation, Okt. 2010
- [7] ÖNORM EN ISO 3095, „Bahnanwendungen — Akustik: Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen,“ 2005.
- [8] J. Mayer, W. Mittmann, J. Pachl, J. Siegmann, W. Weigand; Handbuch „Das System Bahn“; 2008
- [9] ETR Austria; Anwenderhandbuch Systemische Bahnlärmbekämpfung; 2013
- [10] G. Müller, M. Möser; Taschenbuch der Technischen Akustik; 2003
- [11] H. Henn, G. R. Sinambari, M. Fallen; Ingenieurakustik, 3. Auflage; 2001