

# Schallabstrahlung von der Straße

Wolfram Bartolomaeus

Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat V3: Verkehrsimmissionen

Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach

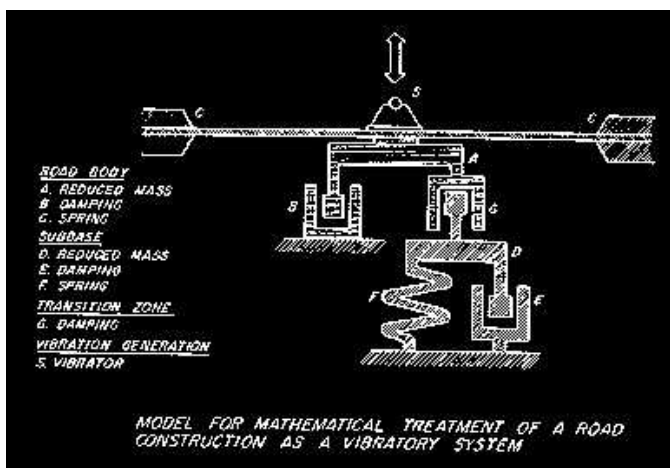
E-Mail: bartolomaeus@bast.de

## Zusammenfassung

An drei Straßenkonstruktionen (Asphalt, Beton in Platten und Beton durchgehend bewehrt) wurden kombinierte akustische und schwingungstechnische Messungen durchgeführt. Eine erste Auswertung zeigt neben den "klassischen" vertikalen Schwingungsmoden bei den Betonbauweisen auch Schwingungen der Platten in Querrichtung sowie möglicherweise transversale Schwingungsmoden. Diese Schwingungen sind so hochfrequent, dass sie zur Schallabstrahlung von Straßen führen könnten. Genaue Untersuchungen dieser Phänomene (auch mit gezielter Schwingungsanregung) stehen noch aus.

## Einleitung

Schon in den 50'er Jahren wurden Schwingungen von Straßen untersucht. In Bild 1 ist ein Modell zur mathematischen Behandlung von Straßenkonstruktionen als schwingendes System dargestellt.



**Bild 1:** Modell für die mathematische Behandlung von Straßenkonstruktionen als schwingendes System (aus [1]).

Die hierbei auftretenden Resonanzfrequenzen der "klassischen" vertikalen Schwingungen lagen bei bis zu 20 bis 30 Hz.

Lag damals das Augenmerk auf der Haltbarkeit der Straßenkonstruktion unter Wechsellast durch überfahrende Fahrzeuge, so soll hier der Frage nachgegangen werden, ob die Straße als schwingfähiges System Schall in nennenswertem Umfang abstrahlt.

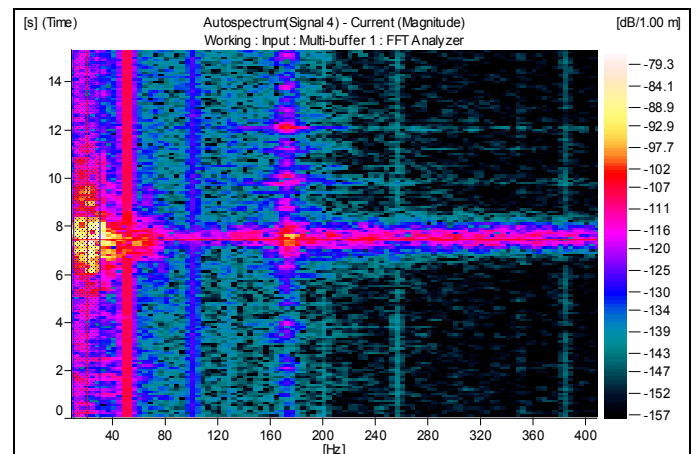
## Messaufbau

Am 14. Februar 2002 wurde auf der B 56 bei Düren an drei Straßenkonstruktionen erste akustische und schwingungstechnische Untersuchungen angestellt. Dazu wurde ein Mikrofon (Typ MK 250 von MG, Frequenzgang bis ca. 20 kHz) ca. 1,50 m von der rechten Roll-

spur entfernt auf diese unter einem Winkel von etwa 30° gerichtet. Ein Beschleunigungsaufnehmer (Typ 8318, Frequenzgang 0,2 Hz bis 1,4 kHz mit Versorgung Typ 2813 von Brüel&Kjær) wurde ca. 20 cm vom Fahrbahnrand entfernt auf die Fahrbanoberfläche gelegt (dies führte bei Vorbeifahrten von schweren Lkw zu Problemen bei der Erfassung). Die Signale wurden mit einem digitalen Tonbandgerät (NAGRA D II) aufgenommen.

## Messungen

Bei den Straßenkonstruktionen auf der B 56 handelte es sich um eine Asphaltdecke aus Splitt-Mastix-Asphalt, ein Betonfahrbahn aus Platten und eine durchgehend bewehrte Betonfahrbahn (Belgische Bauweise). An allen drei wurden Messungen durchgeführt. Bild 2 zeigt ein Beispiel für ein Kontour-Plot des zweifach integrierten Beschleunigungssignals auf der Asphaltstrecke bei der Vorbeifahrt eines Pkw mit ca. 70 km/h Geschwindigkeit, ausgewertet mit PULSE von Brüel&Kjær.

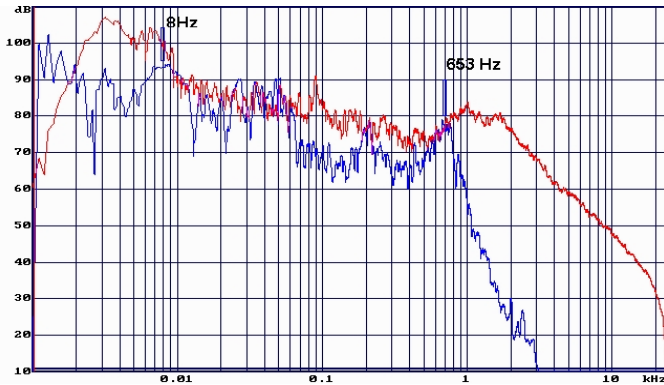


**Bild 2:** Kontour-Plot der Schwingungsamplitude der Vorbeifahrt eines Pkw auf einer Asphaltstraße.

Der Amplitudenpegel in Falschfarben (von schwarz bis weiß) ist hier im Frequenzbereich von 20 bis 420 Hz im Zeitverlauf der Vorbeifahrt (bei ca. 8 s) dargestellt. Deutlich zu erkennen (neben 50 Hz Netzbrummen!) ist hier eine Schwingung mit einer Frequenz von ca. 170 Hz.

Daraufhin wurden Auswertungen mit "Monkey Forest" von Anselm Görtz durchgeführt. Bild 3 zeigt die gleitend über eine 1/12-Oktave gemittelten linearen Spektren von Schwingung (Multiplikation mit  $\omega^2$  im Frequenzbereich) und Luftdruckschwankung im Bereich von 1 Hz bis 24 kHz.

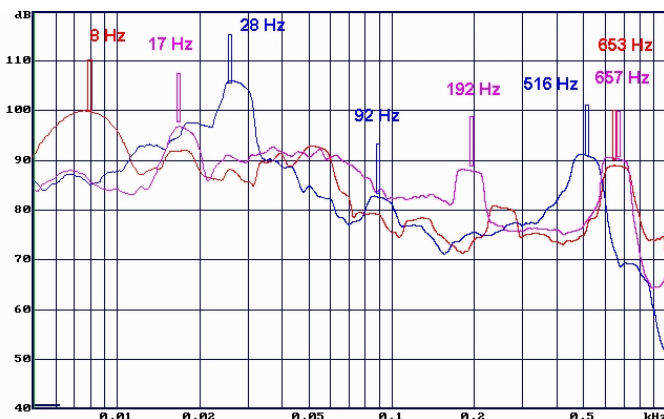
Deutlich zu erkennen ist die vertikale Grundmode bei 8 Hz und eine möglicherweise transversale Mode (Reflexion der Reifeneinsenkung an der Unterseite der gebundenen Asphaltdecke) bei 653 Hz. Eine Querschwingung der Fahrbahn als Platte fehlt hier offenbar.



**Bild 3:** Lineare Spektren von Schwingung (blau) und Schalldruckschwankung (rot) der Vorbeifahrt eines Pkw auf einer Asphaltstraße.

### Analyse

In Bild 4 sind die linearen Schwingungsspektren im Bereich von 5 Hz bis 1 kHz für Asphalt (rot), Betonplatten (violett) und durchgehend bewehrtem Beton (blau) gleitend gemittelt über 1/3-Oktave dargestellt.



**Bild 4:** Lineare Schwingungsspektren für Asphalt (rot), Betonplatten (violett) und durchgehend bewehrtem Beton (blau) der Vorbeifahrt von Pkw.

Für Asphalt sind wieder die beiden Schwingungsmoden aus Bild 3 zu erkennen. Bei den Betonbauweisen kommen jeweils eine mittlere Mode hinzu, die im Verhältnis Platte zu bewehrtem Beton wie etwa 2:1 stehen. Woher kommt das?

Die Biegewellen von frei schwingenden Platten werden ausführlich in [2] behandelt. Die wichtigsten Ergebnisse findet man auch in [3]. So ist die Phasengeschwindigkeit der Biegewelle frequenzabhängig:

$$c_{B,Pl} = \sqrt[4]{\frac{Eh^2}{12(1-\mu^2)\rho}} \cdot \sqrt{\omega} \quad (1)$$

dabei sind:

- E E-Modul der Platte,
- h Plattendicke,
- $\mu$  Querdehnungszahl und
- $\rho$  Massendicht der Platte.

Vergleicht man die Wellenlängen der Biegewelle und der Schallwelle in Luft, so stimmen bei der Grenzfrequenz  $f_{gr}$

beide Wellenlängen überein. Das Verhältnis der beiden Wellenlängen ist maßgeblich für die Schallabstrahlung. Unterhalb der Grenzfrequenz:

$$f_{gr} = 2\pi \cdot c^2 \cdot \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)\rho}{Eh^2}} \quad (2)$$

mit:

- c Schallgeschwindigkeit in Luft

wird keine Schalleistung abgestrahlt ("akustischer Kurzschluss".)

Die Schalleistung ist proportional zum Kosinus der Abstrahlrichtung  $\gamma$ :

$$I \propto \sqrt{1 - \frac{f_{gr}}{f}} = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma} = \cos \gamma \quad (3)$$

Eine mögliche Deutung ist die, dass die Schwingungsmoden mit der kleinsten Frequenz die der "klassischen" vertikalen Schwingung nach [1] entsprechen.

Die mittleren Frequenzen kennzeichnen dagegen die Biegeschwingung von Platten nach [2] und [3]. Dabei sind die Platten beider Straßenseiten miteinander verübelt, so dass die gesamte Fahrbahnbreite (ca. 8 m) schwingt. Bei dem durchgehend bewehrtem Beton findet man dagegen weitestgehend entkoppelte Fahrspuren (4 m) vor.

Bauweise	Asphalt	Beton	
Mode		Platten	durchgehend
Vertikal (f)	8 Hz	17 Hz	28 Hz
Quer ( $\lambda/f$ )		8 m	4 m
		192 Hz	92 Hz
Transveral ( $\lambda/f$ )	0,83 m	1,01 m	1,43 m
	653 Hz	657 Hz	516 Hz

**Tabelle 1:** Mögliche Schwingungsmoden der Fahrbahnkonstruktionen ( $\lambda$ : Wellenlängen; f: Frequenzen).

### Ausblick

Ob die Interpretation der Schwingungsmoden standhält, werden weitere Untersuchungen zeigen. Ebenso ist noch zu klären, ob und wieviel Schall die Straße abstrahlt.

### Quellen

- [1] Baum, G.: "Dynamic investigations of roads in Germany", Symposium on Vibration Testing of Roads and Runways, Amsterdam 1959.
- [2] Courant, R. Hilbert, D.: "Methoden der Mathematischen Physik I", 3. Aufl., Springer, Berlin 1968.
- [3] Meyer, E.; Neumann, E.-G.: "Pysikalische und Technische Akustik", Vieweg, Braunschweig 1967.