

# Der akustische Reifenabdruck – Versuch einer Analyse

Wolfram Bartolomaeus

Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat V3: Verkehrsimmissionen

Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach

e-mail: wolfram.bartolomaeus@bast.de

## Zusammenfassung

Der Vorbeifahrpegel von Pkw und Lkw ist – zumindest bei den auf Autobahnen üblichen Geschwindigkeiten – dominiert von dem Geräusch Reifen/Fahrbahn.

Anhand schmalbandiger und zeitlich hochaufgelöster spektraler Analysen werden die Geräusche aus der Vorbeifahrt eines Lkw insbesondere hinsichtlich ihrer Entstehungsmechanismen am Reifen (Radialschwingung bzw. Air-pumping) unterschieden. Daraus wird der Versuch unternommen, auf Typ und Art der Bereifung zu schließen.

Die Chaostheorie kann ebenfalls zur Charakterisierung des Reifen/Fahrbahn-Geräusches herangezogen werden. Konkrete Ergebnisse liegen allerdings noch nicht vor.

Durch Korrektur der spektralen Daten hinsichtlich Doppler-Verschiebung und Pegelminderung aufgrund des wachsenden Abstandes kann exemplarisch die Abstrahlcharakteristik in einem breiten Winkelbereich von ca. +/- 80° angegeben werden.

Alle diese Analysen haben zum Ziel, durch ein besseres Verständnis der Mechanismen der Schallentstehung – insbesondere in der Grenzfläche Reifen/Fahrbahn – geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Fahrgeräusches zu entwickeln. Es besteht die Hoffnung, dass dies bei den nichtlinearen strömungakustischen Phänomenen des Air-pumping in Zukunft mit Hilfsmitteln der Chaostheorie gelingt.

## Schwebung

Ähnlich wie der Reifen auf der Fahrbahn einen charakteristischen Abdruck hinterlässt, so hinterlässt das gesamte Fahrzeug bei der Vorbeifahrt an einem Hörer einen "akustischen Abdruck".

Als Beispiel wurde für ein Sattelschlepper (2 Vorder- und 3 Hinterachsen), der mit einer Fahrgeschwindigkeit von 23 m/s, (ca. 83 km/h) eine Betonfahrbahn (Zementbeton mit Jutetuch texturiert) befährt, die Schallintensität als Falschfarbendarstellung gegen Frequenz und Zeit aufgetragen.

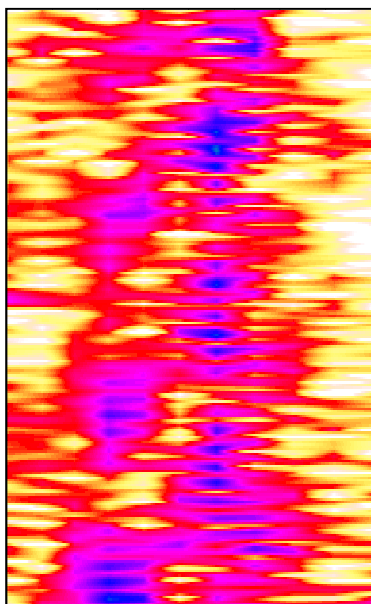


Bild 1: Schwebung

Der Bereich knapp oberhalb von 250 Hz fällt durch ein besonderes Muster auf. In Bild 1 ist dieser Bereich von 240 bis 320 Hz und 15 bis 22 s dargestellt. Man erkennt deutlich zwei eng benachbarte Frequenzen, die in relativ großen Zeitabständen von ca. 2 s abwechselnd laut und leise werden. Es handelt sich um die typische Erscheinung einer Schwebung, deren Ursache nach einer Normierung bezüglich Pegelhöhe, Abschwächung der Amplituden und Frequenz-Doppler-Verschiebung aufgeklärt werden kann. Darüber hinaus ist der zeitliche Verlauf (von unten nach oben) streifig. D.h. es ist noch eine zusätzliche Amplitudenmodulation auf den Trägerfrequenzen aufmoduliert, die eine Frequenz von ca. 8 Hz hat. Wie diese zustande kommt, soll ebenfalls erklärt werden.

Bild 2 zeigt das normierte Spektrum von 100 Hz bis 1 kHz für die Entfernungen 143,8 m, 150,3 m und 156,9 m.

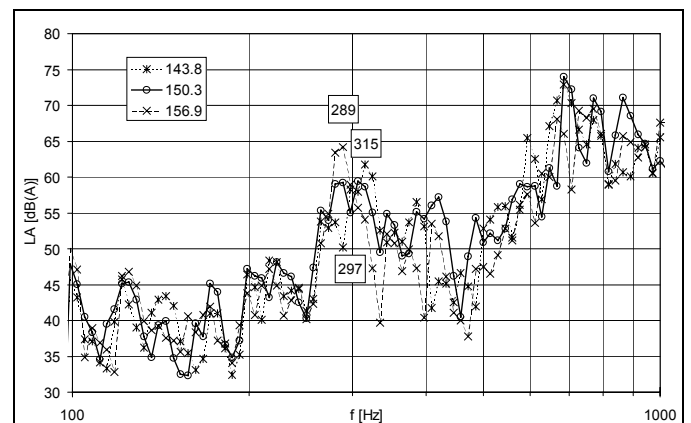


Bild 2: Normierte Spektren von 100 Hz bis 1 kHz bei 143,8 m, 150,3 m und 156,9 m Entfernung

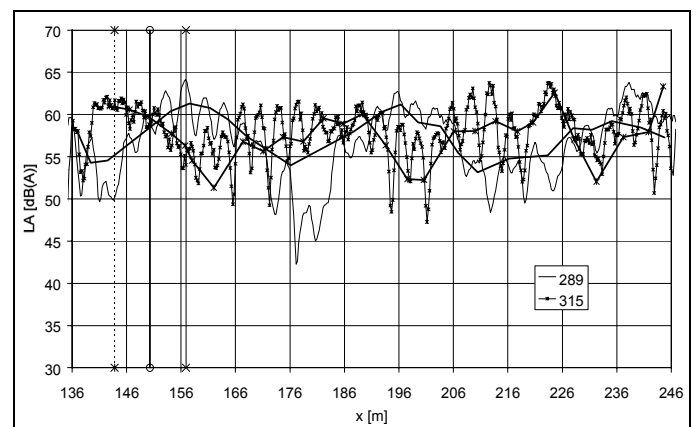


Bild 3: Pegelpfadverlauf für die Frequenzen 289 Hz und 315 Hz für die Entfernung von 136 m bis 246 m mit Schwebungen

Die Frequenzen 289 Hz, 297 Hz und 315 Hz sind besonders gekennzeichnet. Die Schwebung wird dadurch sichtbar, dass bei 143,8 m die Frequenz 315 Hz ein lo-

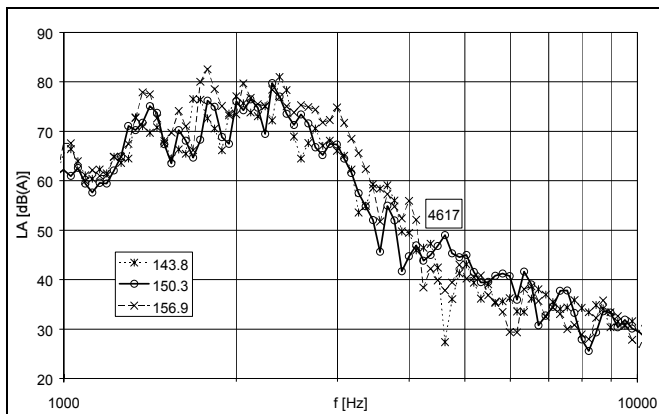
kales Maximum aufweist während die Frequenz 289 Hz dort eine lokales Minimum hat. Für die Entfernung 159,9 m hat sich die Situation gerade umgekehrt. Bei der mittleren Entfernung sind beide Frequenzen etwa gleich stark ausgeprägt. Überdies bleibt die mittlere Frequenz von 297 Hz relativ gleichmäßig.

Schauen wir uns den Wegbereich zwischen 136 m und 246 m (das entspricht 5,84 s bis 10,55 s) in Bild 3 an. Ebenfalls eingetragen sind die in Bild 2 für die drei Spektren geltenden Entfernungen.

Hier wird deutlich, wie die Frequenzen langwellig mit Wellenlängen von ca. 40 m (das entspricht Schwingungsdauern von ungefähr 1,9 s) umeinander schweben. Zusätzlich, und das ist für die Aufklärung des Ursprung des Geräusches wichtiger, sind beide Frequenzen mit einer Frequenz amplitudenmoduliert mit einer Wellenlänge von ca. 3,3 m oder 7 Hz. Dies entspricht nicht durch Zufall dem Umfang eines Reifens von ca. 50 cm Durchmesser. Es könnte sich hier um einen 9.00R20 oder 10R22.5 handeln, der gerne als Zwillingbereifung verwendet wird. Die Schwebungsfrequenzen selbst entsprechen ca. 8,0 cm und 7,3 cm. Dabei handelt es sich mit großer Sicherheit um die Wiederhollängen der Profilklötze der Reifen. Der Verdacht liegt nahe, dass auf den Rädern der Hinterachsen dieses Lastzuges Reifen mit unterschiedlichen Profilverfolgen verwendet werden.

### Chaos

Ganz anders stellt sich die Situation im höherfrequenten Bereich dar. Bild 4 gibt das Spektrum im Bereich von 1 kHz bis 10 kHz für die schon im Bild 2 verwendeten Entfernungen wieder.



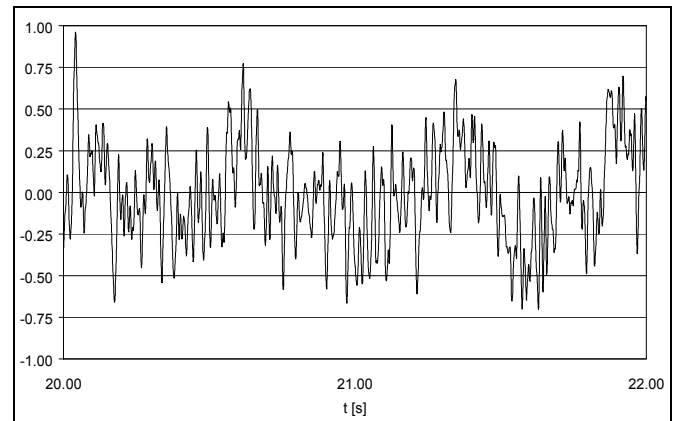
**Bild 4:** Normierte Spektren von 1 kHz bis 10 kHz bei 143,8 m, 150,3 m und 156,9 m Entfernung

Zur Erforschung des Chaos ist es aber besser vom Zeitsignal auszugehen (Bild 5).

Eine Auswertungen läuft hier mit Methoden der Zeitreihenanalyse der evtl. gefilterten Geräuschamplituden. Techniken der spektralen Analyse wie Autokorrelation können hier zur Bestimmung des Attraktor-Typs herangezogen werden. Dieser wird in der Chaostheorie zur Charakterisierung nichtlinearer dynamischer Systeme herangezogen. Mittels der Time-Delay Methode (TDM) kann so z.B. die Korrelationsdimension bestimmt werden.

Bei den bisher durchgeführten Analysen zeigte sich, dass diese Methoden zwar formal anwendbar sind, aber bisher noch zu keinen befriedigenden Ergebnissen ge-

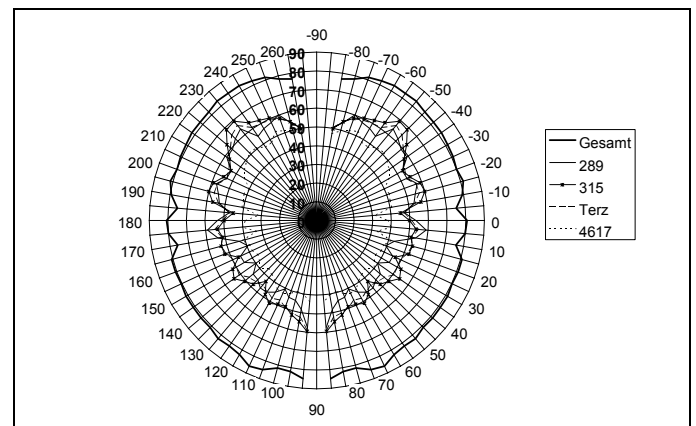
führt haben. Dies kann noch an einer ungenügenden Signalkonditionierung liegen.



**Bild 5:** Zeitsignal der Vorbeifahrt im Bereich von 20 s bis 22 s nach dem Maximalpegel

### Richtcharakteristik

Der A-bewertete Gesamtpegelverlauf kann im Bereich von -50 m bis 350 m angegeben werden. Dies entspricht einem Winkelbereich von -81 ° bis 89 °. Um die Richtcharakteristik für den vorbeifahrenden Lastzug angeben zu können, müssen wir eine energetische Mittelung über gleichbleibende Winkelbereiche vornehmen.



**Bild 6:** Normierte horizontale Richtungscharakteristik für den Gesamtpegel und für die Frequenzen 289 Hz, 315 Hz, deren Terz und 4617 Hz

Bild 6 zeigt die normierte horizontale Richtungscharakteristik für den Gesamtpegel und für die Frequenzen 289 Hz, 315 Hz, deren Terz und 4617 Hz. Auffällig ist, dass der normierte Gesamtpegel im Winkel der Vorbeifahrt (bei 0 °) nur ein lokales, aber kein globales Maximum aufweist. Das wird erst bei ca. -60 ° bzw. +70 ° erreicht und liegt ungefähr 3 dB(A) bzw. 5 dB(A) höher. Direkt vor und nach der Vorbeifahrt bei ca. ±10 ° ist ein Pegel einbruch von ca. 5 dB(A) zu sehen. Hier scheint eine Abschirmung stattzufinden, die mit dem Horneffekt zusammenhängt und die sich insbesondere auf die Emission des Reifengeräusches auswirkt. Besonders deutlich ist dieser Effekt bei dem hochfrequenten Anteil bei 4617 Hz. Die beiden Schwebungsfrequenzen verlaufen sehr unruhig, deren gemittelte Terz steigt im Auslauf von 70 ° bis 85 ° (entsprechend 21 m bis 86 m axialer Entfernung) noch einmal um ca. 10 dB an. Daher ist dieses "Singen" bis in Entfernungen von ca. 280 m noch gut zu hören.