

# Schallquellen des Schienenverkehrs

Manfred Beier

DB Systemtechnik, TZF 101 München; Email: [Manfred.Beier@bahn.de](mailto:Manfred.Beier@bahn.de)

## Einleitung

Die Schallemission von Zügen setzt sich aus zahlreichen Roll-, Traktions- und Aerodynamischen Geräuschemissionsquellen zusammen. In dem HARMONOISE Projekt wird ein Kalkulationsschema entwickelt, mit dessen Hilfe die Schallemission dieser Vielzahl physikalischer Einzelschallquellen durch eine geringe Zahl äquivalenter Schallquellen beschrieben werden soll. In dem folgenden Tagungsbeitrag werden die zahlreichen Schallquellen des Schienenverkehrs anhand von Ergebnissen einer Mikrofon-Array-Messung am Beispiel des ICE 3 gezeigt. Im weiteren werden die Anforderungen an die äquivalenter Schallquellen und der formelmäßige Ansatz zur Bestimmung äquivalenter Schallquellen beschrieben.

## Schallquellen des ICE 3

### Schallquellenortung mit dem Mikrofonarray

Mit Mikrofonarrayaufnahmen können alle Schallquellen eines vorbeifahrenden Zuges übersichtlich gezeigt werden. Abbildung 1 enthält farblich hervorgehobene Geräuschquellen des ICE 3 bei der hohen Geschwindigkeit  $v = 350$  km/h. Zu erkennen sind Rollgeräuschquellen (14 Räder), aerodynamische Schallquellen (Aufbauten auf dem Dach wie Isolatoren, Kabel, Stromabnehmer und der Zwischenraum zwischen zwei Wagen). Traktionssschallquellen

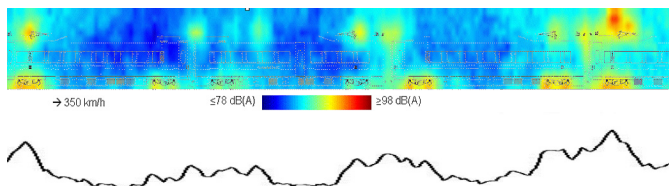


Abbildung 4: Mikrofonarrayaufnahme des ICE 3 mit dem Spiral-Array der DB Systemtechnik. Zu sehen sind 3 und 1/2 Mittelwagen mit farblich hervorgehobenen Schallquellen und qualitativem Pegelschrieb.

spielen bei der hohen Geschwindigkeit nur eine untergeordnete



Abbildung 1: Aerodynamische Schallquellen des ICE 3 auf dem Fahrzeugdach: Antennen oben links, Stromabnehmer oben rechts, Kabel und Isolatoren unten

Rolle und sind deshalb nicht erkennbar.

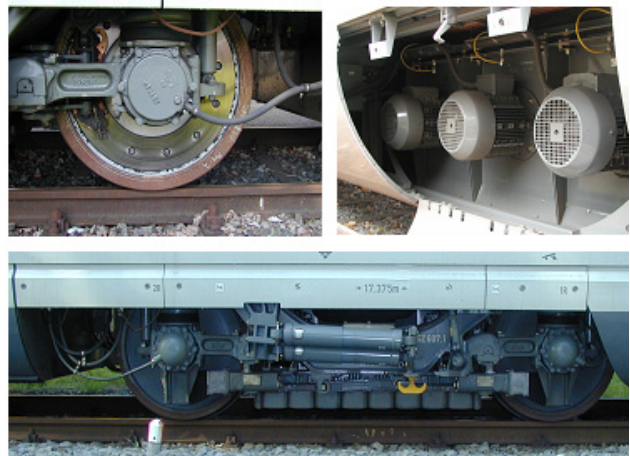


Abbildung 3: Rollgeräusch- und Traktionssschallquellen des ICE 3. Das Drehgestell ist zusätzlich eine aerodynamische Schallquelle.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen einige Verursacher von Aerodynamischen, Traktions- und Rollgeräusch- Schallquellen des ICE 3.

## Äquivalente Schallquellen

### Eigenschaften und Beschreibung

Zur Entwicklung eines Berechnungsschemas müssen die physikalischen Schallquellen durch äquivalente Schallquellen ersetzt werden. Die Anzahl der physikalischen Schallquellen einer komplexen Schallquelle wie sie ein Zug darstellt, wird durch die Bildung äquivalenter Schallquellen signifikant vermindert. Eine äquivalente Schallquelle

- ist eine Punktschallquelle mit Richtcharakteristik.
- hat eine Quellstärke mit maximalem Schallpegel in eine Abstrahlrichtung.
- wird beschrieben mit Terzfrequenzpegeln  $L(f_k)$ .
- und gilt für eine vorgegebene Geschwindigkeit.

Eine äquivalente Schallquelle fasst physikalische Schallquellen zusammen. Ordnungsparameter für die Zusammenfassung kommen aus der Fragestellung, die mit der Schallquellenbeschreibung beantwortet werden soll und können ihre Höhe, ihre Geschwindigkeitsabhängigkeit oder Richtcharakteristik sein. Parameter einer äquivalenten Schallquelle sind der Schalldruckpegel in Richtung der maximalen Schallabstrahlung  $L_p^{\max}(f_k)$  (eq. 1), die aus den physikalischen Positionen  $r_i$  resultierende Position der äquivalenten Schallquelle  $r$  (eq. 2 und 3) und ihre horizontale und vertikale

$$L_p^{\max}(f_k) = 10 \log \left( \sum_i 10^{\frac{L_{p,i}^{\max}(f_k)}{10}} \right) \quad \text{eq. 1}$$

le Richtwirkung der Schallquelle  $\Delta L_p(\varphi)$  und  $\Delta L_p(\psi)$  als Abweichung von dem maximalen Schalldruckpegel  $L_p^{\max}(f_k)$ .

$$r = \sum_i F_i r_i \quad \text{eq. 2}$$

Eq. 2 enthält Gewichtungsfaktoren, die mit Hilfe von eq. 3 zu bestimmen sind.

$$F_i = \frac{\sum_k 10^{\frac{L_{p,i}^{\max}(f_k)}{10}}}{\sum_k 10^{\frac{L_p^{\max}(f_k)}{10}}} \quad \text{eq. 3}$$

Mit Hilfe von eq. 3 für die Gewichtungsfaktoren und den Richtwirkungen der einzelnen physikalischen Schallquellen  $\Delta L_{p,i}(\varphi)$  bzw.  $\Delta L_{p,i}(\psi)$  wird die horizontale (s. eq. 4) und vertikale (s. eq. 5) Richtwirkung der äquivalenten Schallquelle bestimmt.

$$\Delta L_p(\varphi, \psi = konst) = 10 \log \left( \sum_i F_i 10^{\frac{\Delta L_{p,i}(\varphi)}{10}} \right) \quad \text{eq. 4}$$

$$\Delta L_p(\psi, \varphi = konst) = 10 \log \left( \sum_i F_i 10^{\frac{\Delta L_{p,i}(\psi)}{10}} \right) \quad \text{eq. 5}$$

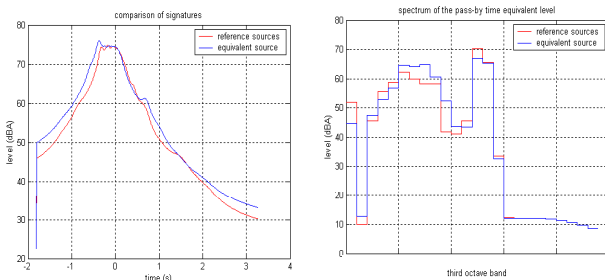
Eq. 6 bis eq. 8 beschreiben zusammenfassend den Schalldruckpegel für die horizontale (eq. 6) bzw. vertikale (eq. 8) Richtung der Schallausbreitung:

$$L_p^{\max} = \text{Max}(L_p(\varphi), L_p(\psi)) \quad \text{eq. 6}$$

$$L_p(\varphi) = L_p^{\max} + \Delta L_p(\varphi, \psi = konst) \quad \text{eq. 7}$$

$$L_p(\psi) = L_p^{\max} + \Delta L_p(\psi, \varphi = konst) \quad \text{eq. 8}$$

Die Gleichungen eq. 1 bis eq. 8 beschreiben den Berechnungsweg von einer Anzahl physikalischer Schallquellen mit dem Index  $i$  zu einer äquivalenten Schallquelle. Auf verschiedene Ordnungsparameter angewandt, lassen sich so aus einer großen Anzahl physikalischer Schallquellen eine kleine Anzahl äquivalenter Schallquellen bestimmen.

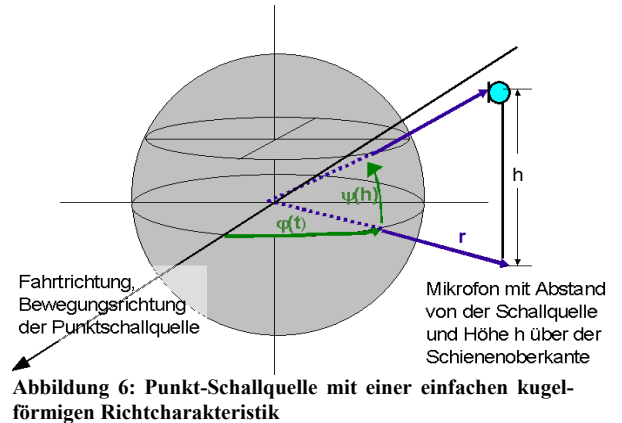


**Abbildung 5: Vorbeifahrpegelschrieb und Terzfrequenzspektrum (50 Hz bis 10 kHz) bestimmt aus den drei Einzelquellen Halterung-Knie-Wippe des TGV Stromabnehmers. Vergleich Messung (72,9 dB(A)) und Berechnung (73,0 dB(A)) mit Hilfe äquivalenter Schallquellen.**

Quelle: C. Cremezi, C. Talotte, P. E. Gautier, D. Stiebel: From Physical Sources to Equivalent Noise Sources, Euronoise 2003, paper ID 528.

### Beispiele

Eine äquivalente Schallquelle ist nur eine angenäherte Beschreibung der zusammengefassten physikalischen Schallquellen. In der Abbildung 5 werden die drei physikalischen Schallquellen des Stromabnehmers – Halterung mit Isolatoren, Kabeln und Schalter, Knie und Wippe - zu einer äquivalenten Schallquelle zusammengefasst und das Ergebnis dieser Berechnung mit dem Messergebnis dargestellt. Die Näherung stimmt recht gut mit dem Messergebnis überein.



**Abbildung 6: Punkt-Schallquelle mit einer einfachen kugelförmigen Richtcharakteristik**

Abbildung 6 stellt eine Momentaufnahme der Situation einer sich bewegenden Schallquelle mit einer kugelförmigen Richtcharakteristik dar, die mit einem Mikrofon mit dem Abstand  $r$  und der Höhe  $h$  gemessen wird. Dabei ist der vertikale Winkel  $\psi$  angenähert konstant und eine Funktion der Mikrofonhöhe. In der Realität ist Winkel  $\psi$  am größten, wenn die sich bewegende Schallquelle den kleinsten Abstand zum Mikrofon hat. Der horizontale Winkel  $\varphi$  ist eine Funktion der Bewegung der Schallquelle, also der Zeit. Die Parameter  $r$ ,  $h$ , der maximale Pegel  $L_p^{\max}(f_k)$  und die Richtcharakteristik der Schallquelle beschreiben das Messsignal vollständig.