

# Analyse der Aussagesicherheit bei der Messung von Erschütterungsimmissionen durch den oberirdischen Schienenverkehr

Hans Högg, Christian Eulitz, Lukasz Kolny

Möhler + Partner, 80336 München, E-Mail: info@mopa.de

## Einleitung

Bei der Messung von Erschütterungsimmissionen sind neben den zwangsläufigen Unsicherheiten bei der Mess- und Auswertetechnik auch die Einflussfaktoren der Emission (z.B. Art und Zustand des Oberbaus bzw. der Fahrzeuge), der Transmission (z.B. Untergrundverhältnisse) und der Immission (z.B. Gebäudedynamik, Lage und Ankopplung der Messpunkte innerhalb und außerhalb von Gebäuden) maßgebend. Eine Verringerung der Messunsicherheit lässt sich in der Praxis meist nur durch eine Erhöhung der Stichprobenzahl herbeiführen. Die entsprechenden Regelwerke (vgl. DIN 4150-2 bzw. RiL 800.2501 bis 2503) enthalten hierzu pauschale Angaben über die Zahl der zu erfassenden Ereignisse je Zugklasse. Auf Basis eines 24h-Messdatensatzes wurden Überlegungen anhand statistischer Untersuchungen durchgeführt. Als Ergebnis sollen Erkenntnisse gezogen werden, welche Stichprobenzahl in Abhängigkeit von der Zugklasse und der Lage des Messpunkts notwendig ist, um statistisch abgesicherte Aussagen aus einem Messdatensatz abzuleiten.

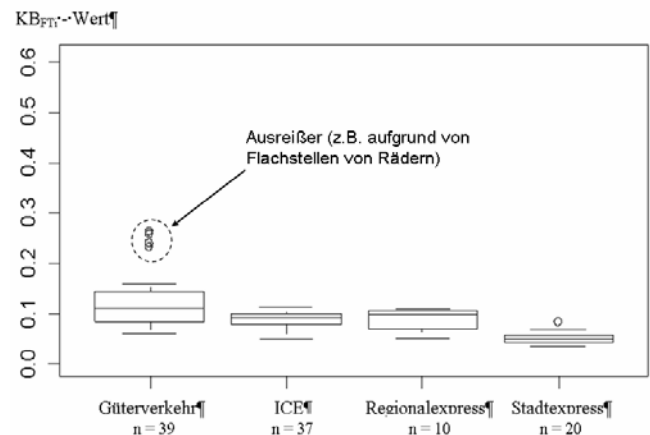
## Hintergrund

Messtechnische Untersuchungen zur Bewertung der Erschütterungsimmissionen orientieren sich u. a. an organisatorischen, zeitlichen und finanziellen Kriterien, weshalb in der Regel eine begrenzte Anzahl von Ereignissen aus einer Grundgesamtheit erfasst wird. Da erfahrungsgemäß die relevanten Kenngrößen für die Beurteilung einer teilweise erheblichen Streuung unterworfen sind und diese aufgrund des begrenzten Stichprobenumfangs generell schwer abgeschätzt werden können, sind bei umfangreicheren Messkampagnen (z.B. im Rahmen von Planfeststellungsverfahren) weitergehende Analysen der Messreihen anhand statistischer Verfahren zweckmässig.

## Vorgehensweise

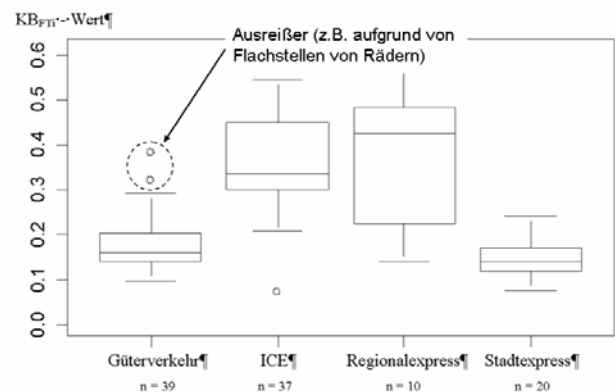
Erschütterungsimmissionen werden anhand der zeit- und frequenzbewerteten Schwingstärke  $KB$  beurteilt. Im Rahmen einer 24h-Messung mit insgesamt ca. 300 erfassten Ereignissen wurde demzufolge die Streuung der Taktmaximalwerte  $KB_{FTi}$  anhand von Boxplots dargestellt. In Abhängigkeit von der Lage des Messpunkts (z.B. Außenmesspunkt, Gebäudemesspunkt) traten unterschiedlich hohe Schwankungen der Einzelwerte auf.

Exemplarisch sind in Abhängigkeit von der Zugklasse die Schwankungsbreiten auf einer Beton- bzw. Holzbalkendecke in Form von Boxplots dargestellt.



**Abbildung 1:** Schwankungsbreite von Erschütterungsimmissionen (anhand des Taktmaximalwertes  $KB_{FTi}$ ) auf einer Betondecke in Abhängigkeit von verschiedenen Zugklassen (n: Stichprobenanzahl)

Die einzelnen Vorbeifahrten weisen auf einer Betondecke verhältnismäßig geringe Streuungen auf. Vereinzelt traten aufgrund von offensichtlichen Anormalitäten von Fahrzeugen sogenannte Ausreißer (z.B. vor allem beim Güterverkehr durch Flachstellen von Rädern) auf.

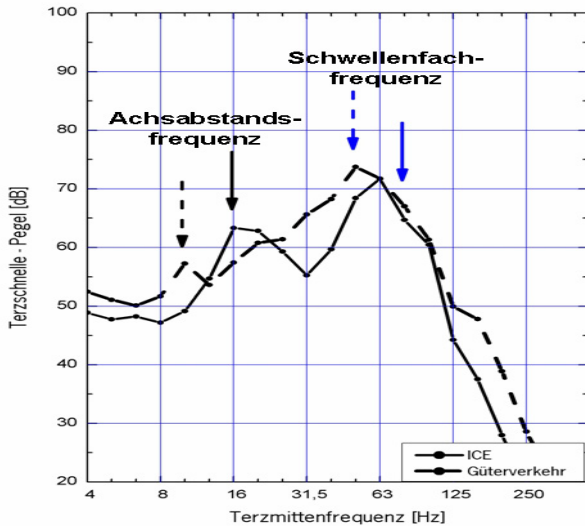


**Abbildung 2:** Schwankungsbreite von Erschütterungsimmissionen (anhand des Taktmaximalwertes  $KB_{FTi}$ ) auf einer Holzbalkendecke in Abhängigkeit von verschiedenen Zugklassen (n: Stichprobenanzahl)

Auf einer Holzbalkendecke ist vor allem die starke Streuung der Erschütterungsimmissionen bei den Zugklassen „ICE“ und „Regionalexpress“ gegenüber den Zugklassen „Güterverkehr“ bzw. „Regionalexpress“ auffallend.

Die Deckeneigenfrequenzen wurden messtechnisch mit  $f_0 \cong 16$  Hz (Holzbalkendecke) bzw.  $f_0 \cong 30$  Hz (Betondecke) ermittelt.

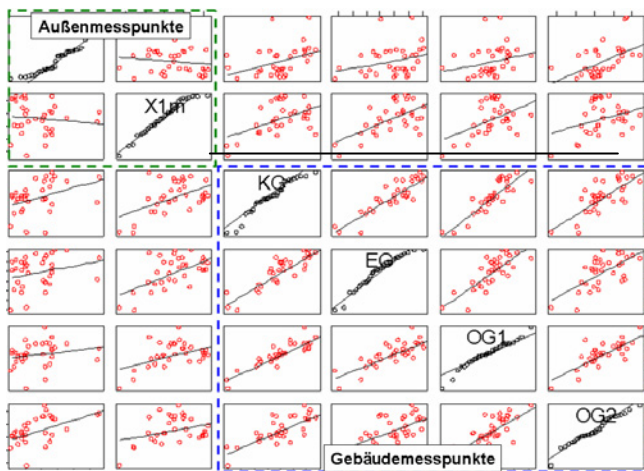
Die emissionsseitigen Anregungsspektren der Zugklassen „ICE“ bzw. „Güterverkehr“ sowie die geschwindigkeitsabhängigen periodischen Anregungsfrequenzen durch den Achsabstand bzw. Achsabstand sind in Abbildung 3 erkennbar.



**Abbildung 3:** Terzschnellespektrum im Boden auf Erdflock (8 m seitlich von Gleismitte) bei der Zugklasse „ICE“ ( $v \cong 180$  km/h) bzw. „Güterverkehr“ ( $v \cong 100$  km/h)

Die starke Streuung der Taktmaximalwerte  $KB_{FTi}$  bei den Zugklassen „ICE“ und „Regionalexpress“ lassen Resonanzen zwischen der Deckeneigenfrequenz und der periodischen Anregungsfrequenz durch den Achsabstand bei 16 Hz vermuten.

Im Weiteren wurde anhand einer Korrelationsmatrix die Abhängigkeit der Taktmaximalwerte  $KB_{FTi}$  zwischen den einzelnen Messpunkten untersucht.

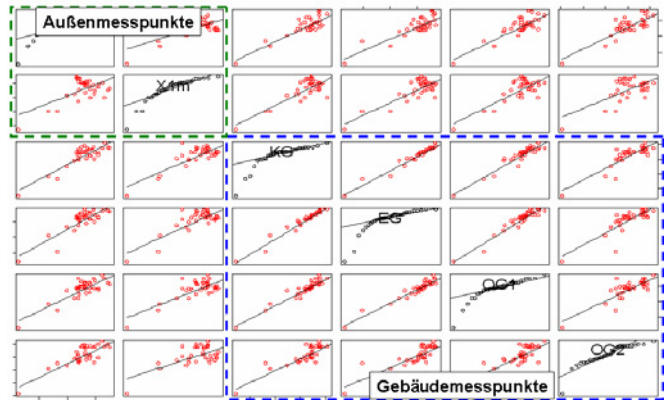


**Abbildung 4:** Korrelationsmatrix der Zugklasse „ICE“ anhand des Taktmaximalwertes  $KB_{FTi}$

Während zwischen den jeweiligen Gebäudemesspunkten gute Korrelationen bestehen, sind eindeutige Kausalitäten

bei den Außenmesspunkten und zwischen den Außenmesspunkten und den Gebäudemesspunkten nicht erkennbar.

Demzufolge wurden die Korrelationen zwischen den einzelnen Messpunkten bei den Terzmittenfrequenzen untersucht. Nachfolgend sind diese Korrelationen bei  $f = 16$  Hz dargestellt.



**Abbildung 5:** Korrelationsmatrix der Zugklasse „ICE“ anhand der Terzmittenfrequenz von  $f = 16$  Hz

Bei der frequenzabhängigen Betrachtung ergeben sich zudem auch gute Korrelationen bei den Außenmesspunkten und zwischen den Außenmesspunkten und den Gebäudemesspunkten.

### Ausblick

Die bisherigen Erkenntnisse über eine mögliche Betrachtung mittels des Taktmaximalwertes bzw. einer frequenzselektiven Betrachtung werden bei den weiteren Auswertungen berücksichtigt.

Auf Basis zusätzlicher Untersuchungen soll ermittelt werden, welcher Messumfang in Abhängigkeit von der Zugklasse bzw. der Lage des Messpunkts zweckmässig erscheint, um die signifikanten Kenngrößen mit einer zulässigen im Vorfeld zu definierenden Abweichung zu ermitteln.

Im vorliegenden Fall haben die bisherigen Auswertungen eines 24h-Messdatensatzes gezeigt, dass die pauschalen Vorgaben zur Größe des Messumfangs aus den Regelwerken grundsätzlich ausreichend abgesicherte Messdaten erwarten lassen. Bei einer genaueren Betrachtung wäre bei Gebäuden mit Holzbalkendecken der Messumfang zu erhöhen gewesen bzw. bei Gebäuden mit Betondecken hätte eine Reduzierung des Messumfangs erfolgen können.

### Literatur

- [1] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (1999)
- [2] Erschütterungen und sekundärer Luftschall, DB AG-Richtlinien 800-2501 bis 800-2503, Entwurf vom 05.12.2006
- [3] Rasch D., Verdooren L. R., Gowers J. I. (2007), Planung und Auswertung von Versuchen und Erhebungen, 2. Auflage, 2007 Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH