

Diss. ETH No. 16686

**Kurvenkreischen:
Untersuchung der Rahmenbedingungen, die zu
Kreischen führen und akustische Modellierung
der kreisenden Räder**

Abhandlung zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN DER
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
Rossano Stefanelli

Dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 4. April 1974
von Alezio (I)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. J. Dual, Referent
Prof. Dr. Ch. Glocker, Korreferent
Dr. K. Heutschi, Korreferent

Zürich, 2006

Zusammenfassung

Kurvenkreischen ist ein Phänomen, welches in engen Kurven bei schienengebundenen Transportsystemen auftreten kann und zu hoher Lärmbelastung der Anwohner und Bahnbenutzer führt. Da bisherige Massnahmen gegen das Kurvenkreischen nicht zu den erwarteten Verbesserungen führten, wurde beschlossen, sich verstärkt dem Entstehungsprozess des Kurvenkreischens zu widmen. Die komplexe Aufgabenstellung wurde dazu auf zwei Dissertationen aufgeteilt, die in enger Zusammenarbeit mit den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) durchgeführt wurden.

Die hier vorliegende Arbeit befasste sich hauptsächlich mit der experimentellen Erfassung des Phänomens vor Ort und der akustischen Modellierung der Eisenbahnräder, wogegen die andere Arbeit schwerpunktmässig die Modellierung der Wechselwirkung zwischen Rad und Schiene behandelte. So wurde eine enge Verknüpfung zwischen experimenteller und theoretischer Arbeit geschaffen.

In der vorliegenden Arbeit wurden in umfangreichen Langzeitmessungen die Schallabstrahlung vorbeifahrender Züge, sowie die in die Schienen erzeugten Schwingungen erfasst. Aus den Frequenzspektren der erfassten Signale, die durch die Short-Time-Fast-Fourier-Transformation berechnet wurden, konnte der Frequenzbereich ermittelt werden, in dem das Kreischen auftritt. Durch den Vergleich der Frequenzspektren der Beschleunigungssignale, sowie der Mikrophonsignale konnte gezeigt werden, dass die Mikrophone trotz schwierigen topographischen Verhältnissen (Gleisüberhöhung, hohe Seitenwände mit unterschiedlicher Neigung und Pflanzenbewuchs, unterschiedlicher Abstand zwischen Boden und Mikrophon) zuverlässige Angaben über die Seite, auf der das Kreischen auftritt, liefern. Mit zusätzlicher Zuhilfenahme des Dopplereffekts und dem Zeitpunkt des Vorbeirollens der einzelnen Radsätze konnte

gezeigt werden, dass beim Auftreten von Kurvenkreischen jeweils ein vorderes kurveninneres Rad oder ein hinteres kurvenäusseres Rad dafür verantwortlich gemacht werden konnte.

Weitere Untersuchungen zeigten, dass nur einzelne Räder für das Kreischen verantwortlich waren. Dabei spielten die herrschenden Witterungsverhältnisse, die Fahrtrichtung und die Fahrgeschwindigkeit eine zentrale Rolle bei der Entscheidung, ob das Kreischen auftrat. All diese Grössen beeinflussen das Fahrverhalten der Drehgestelle und somit den Seitenversatz und Anlaufwinkel der Räder. In Versuchsfahrten wurde der Zusammenhang durch eine selbstentwickelte Vorrichtung erfasst, die es erlaubte die Wiederholbarkeit einzelner Fahrten und den Bereich, in dem sich die Grössen bewegten, zu quantifizieren.

Ein weiteres Ergebnis der Untersuchungen war, dass das Kreischen ein äusserst rad- und fahrzeugspezifisches Merkmal ist, das sich über längere Zeit nicht ändert. Im vorliegenden Fall umfasste dies die gesamte einmonatige Dauer einer ununterbrochenen Messreihe.

Neben den Messungen wurden akustische Simulationen der Räder durchgeführt, um die Schallabstrahlung der einzelnen Eigenformen zu bestimmen. Die Untersuchungen fanden an Steuerwagenrädern statt, da der Steuerwagen während den Messungen besonders häufig als kreischend hervorgetreten war. Die Abstrahlung wurde über zwei Verfahren ermittelt: einerseits durch die Methode, die sich auf die Norm EN-ISO 3744 stützt und andererseits über die normalen Oberflächengeschwindigkeiten. Ausgangspunkt der Analyse waren Finite-Elemente-Modelle, die verschiedene Abnutzungszustände der Räder widerspiegeln und mittels Labormessungen überprüft wurden. Die Schallabstrahlung wurde aus der Schwingungsantwort dieser Modelle aufgrund der angreifenden Kräfte im Frequenzbereich berechnet. Hierbei wurden in den Modellen experimentell ermittelte Dämpfungswerte eingesetzt.

Der Vergleich der zwei Methoden untereinander und gegenüber den Labormessungen zeigte, dass für den betrachteten Frequenzbereich zwischen 3kHz und 5kHz die Methode mit den Oberflächengeschwindigkeiten bessere Ergebnisse lieferte. Der Grund für das schlechtere Abschneiden der anderen Methode wird in der Numerik vermutet.

Der Vergleich zwischen Messungen und Simulationen konnte die für das Kreischen verantwortlichen Eigenform nicht bestimmen, sondern nur die Anzahl der in Frage kommenden Eigenformen einschränken. Es zeigte sich, dass die Eigenformen mit schwingenden Radkränzen für das Kreischen verantwortlich sein müssen.

Abstract

Curve squealing is a phenomenon which can occur at tight curve in rail-bound transport systems. The consequence is a high acoustic impact on the nearby residents and the train passengers. Present measures against curve squealing have not proved sufficiently. As a result two PhD-student were involved in a project supported by the Swiss Federal Railways (SBB) focusing on the origin of the phenomenon. The two related works allowed a large exchange between experimental and theoretical work.

The work presented here, focused mainly on the experimental acquisition of on-site data about the phenomenon and the acoustic simulation of the wheels, whereas the second project focused on the simulation of the interaction between wheel and rail.

In the present work the acoustic sound emission of passing trains and induced rail vibration have been monitored during long-term measurements. The frequency spectra of the acquired signals have been calculated and by analysis of these spectra, the frequency range of curve squealing has been determined. The comparison of the spectra obtained by microphone signals and those from acceleration measurements in the rails showed that despite the topography on either side of the rail track being different (superelevation of the track, cutting with different wall inclinations, natural cover and distances to the track and different distances between ground and microphones) the microphones gave reliable indications as to on which side of the train squealing had occurred. With the additional aid of the Doppler-effect and the exact point in time of the pass by of each wheel-set it could be shown that, when squealing occurred, a front wheel of a bogie on the inner rail or a rear wheel of a bogie on the outer rail was responsible for the squealing.

Additional data analyses showed that when squealing occurred a single wheel

was responsible. The occurrence of squealing was heavily influenced by the weather conditions, the driving direction and the train speed. These variables have an impact on the running behaviour of the bogie and as a consequence on the lateral displacement and the angle of attack of the wheels. Equipment developed as part of this work allowed the measurement, in test runs, of the variation of certain parameter and the quantification of the repeatability of the pass by.

An additional result of the analysis was the discovering that squealing is a very wheel and vehicle specific characteristic. In the monitoring, this could be repeatable observed during a period of over one month.

In addition to the measurements, acoustical simulations have been performed in order to quantify the sound emission of the various eigenforms. These analyses have been performed on the wheels of the monitored driving trailer, since it very often caused squealing. The sound emission was determined by two different approaches. Starting from the force response of finite-element-analysis of wheels at different wear state, the acoustic responses have been calculated. One approach based on the norm EN-ISO 3744, the other on the normal mean square surface velocity. The material damping ratios were experimentally determined.

The comparison between the two numerical methods on one side and with labour measurements, showed that in the analysed frequency range ($3kHz$ to $5kHz$), the approach with the normal mean square surface velocity gave better results. Numerical reasons are supposed to be the reason for this.

The comparison between measurements and simulations could not determine which eigenform causes the curve squealing, but could reduce the number of candidates. It could be seen that eigenforms in which the rims are subject to movement, are responsible for squealing.