

# **acramos – das System zur automatischen, fahrzeugselektiven Erfassung der Geräusch- und Erschütterungsemission von Schienenfahrzeugen des Regelbetriebs**

Manfred T. Kalivoda

psiA-Consult GmbH, A-1230 Wien; e-mail: [office@psia.at](mailto:office@psia.at)

## **Einleitung**

Kosten-Nutzen-Analysen zeigen immer wieder, dass die Bekämpfung der Lärmentstehung bei der Eisenbahn volkswirtschaftlich sinnvoller ist als der ausschließliche Bau von Lärmschutzwänden. An besonders stark belasteten Streckenabschnitten werden Lärmschutzwände immer erforderlich sein. Diese dürfen aber nur als Ergänzung zu den Maßnahmen an der Quelle verstanden werden.

Trotzdem der volkswirtschaftliche Nutzen der (Bahn-)Lärmbekämpfung an der Quelle und die Notwendigkeit einer raschen Implementierung wissenschaftlich klar nachvollziehbar sind, sieht die Praxis anders aus. Immissionsschutzziele bei der Bahn werden praktisch nur durch den Bau von Lärmschutzwänden bzw. dem Einbau von Lärmschutzfenstern erreicht. Will man besser verstehen, warum es einfacher ist, Lärmschutzwände zu bauen als die Emission zu verringern, muss man die individuellen Kosten-Nutzen-Bilanzen der einzelnen am Bahnlärmproblem Beteiligten, betrachten. Man erkennt dann, dass beim Bau von Lärmschutzwänden sowohl für die öffentliche Hand als auch für die Infrastruktur Kosten entstehen, hingegen beim aktiven Lärmschutz an den Fahrzeugen selbst nur die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) Kosten zu tragen haben [1].

Die Liberalisierung auf dem europäischen Eisenbahnmarkt hat die Infrastrukturbetreiber in die Situation gebracht, einerseits gegenüber den Anrainern zur Einhaltung bestimmter Geräuschimmissionspegel verpflichtet zu sein, während keine Möglichkeiten bestehen, die Höhe der Geräuschemission der verwendeten Fahrzeuge zu beeinflussen. psiA-Consult hat für die ÖBB Infrastruktur BauAG das acoustic railway monitoring system **acramos**® entwickelt, ein Messsystem zur automatischen, fahrzeugselektiven Erfassung der Geräusch- und Erschütterungsemission von Schienenfahrzeugen des Regelbetriebs, und an der Nordbahn bei Wien im Juli 2006 in Betrieb genommen.

In den letzten Jahren wurden große Fortschritte bei den Methoden zur Messung der Eisenbahngeräuschemission getätigt. Die EU-Forschungsprojekte Metarail und STAIRRS haben die Reproduzierbarkeit von Zulassungsmessungen mit einem Streubereich von nur  $\pm 0,7\text{dB(A)}$  deutlich verbessert. Wiewohl die wiederkehrende Überprüfung der Geräuschemission von Schienenfahrzeugen im täglichen Betrieb (Bahnlärm-Monitoring) grundsätzlich mit denselben Methoden erfolgen kann, wie die Zulassungsmessungen, muss sich das Bahnlärm-Monitoring mit einen wesentlichen Unterschied zur Zulassungsmessung auseinandersetzen:

Während Zulassungsmessungen nur unter spezifizierten und kontrollierten Normbedingungen stattfinden, muss ein sinnvolles permanentes Monitoring auch unter Nicht-Standardbedingungen funktionieren. Das erfordert Methoden, welche über jene der Zulassungsmessungen weit hinausgehen und technisch viel anspruchsvoller sind.

Bahnlärm-Monitoring muss unter den verschiedensten, oft

widrigen Umwelt- und Betriebsbedingungen verlässliche und nachvollziehbare Ergebnisse liefern, wenn es als brauchbares Instrument für umweltbezogene Trassenmanagement eingesetzt werden soll. Zurzeit existieren praktisch keine Methoden dafür.

## **Beschreibung des Messsystems**

An der Nordbahn bei Wien ist im Zuge des von BMVIT und ÖBB Infrastruktur BauAG unterstützten Projekts SIN [2] seit Juli 2006 eine automatische Bahnlärm-Monitoring-Anlage in Betrieb. psiA-Consult hat das Messsystem **acramos**® in Zusammenarbeit Wölfel Messsysteme Software GmbH & Co entwickelt.

Gemeinsam mit dem Vorbeifahrtpegel und den Erschütterungen wird das Achsmuster jedes Zuges erfasst. Damit kennt man nicht nur die Emissionen jeder einzelnen Achse, die gemessenen Vorbeifahrtpegel können auch automatisch vordefinierten Zugkategorien (z.B. S-Bahn, Doppelstock-Wendezug, Reisezug, Güterzug, Lokbaureihe) zugeordnet werden. Diese Zuordnung erfolgt automatisch aus dem Achsmuster und unabhängig von bahninternen Zugüberwachungs- und Zugverfolgungssystemen.

Die Messstelle besteht aus 2 Messquerschnitten. Es sind 2 wetterfeste Mikrofone, jeweils in 7,5m Entfernung von der Schienenachse und in 1,2m Höhe über SOK, 2 Radsensoren, die das Achssignal liefern, Beschleunigungsaufnehmer auf der Schwelle für vertikale Schwellenbeschleunigungen sowie Aufnehmer für die vertikalen und horizontalen Schienenbeschleunigung angebracht. Durch die 2 Messquerschnitte wird die statistische Signifikanz verbessert. Gemeinsam mit den akustischen Parametern wird auch die Meteorologie aufgezeichnet. Die Registrierung des Zuges erfolgt durch das Erfassen der Durchfahrtszeit der einzelnen Fahrzeugachsen im Messquerschnitt.

Während einer Zugvorbeifahrt werden für jeden Messquerschnitt die Schallpegel in der 7,5m Mikrofonposition, Schienen- und Schwellenbeschleunigungen und die Achssignale des induktiven Radsensors parallel aufgezeichnet. Mit Hilfe des Achssignals (=Achspolposition) erfolgt eine Zuordnung der gemessenen Emissionen (Schall und Beschleunigungen) zu den jeweiligen Positionen des einzelnen Rades bzw. in Folge des Drehgestells. Mit dem gemessenen Achsmuster kann mit einer internen Zugdatenbank verglichen und die Zugkategorie bestimmt werden. Durch die Position der Fahrzeuge im Zugverband kann eine Klassifizierung in Zugarten (Güterzug, Personenzug, Lokzug, etc.) durchgeführt werden. Zur Zeit werden 29 Zugkategorien verwendet. Zusätzlich zur Kategorisierung wird mit Hilfe der beiden Radsensoren eine Richtungserkennung durchgeführt und der Geschwindigkeitsverlauf während einer Zugvorbeifahrt ( $V_{\min}$ ,  $V_{\max}$  und  $V_{\text{mittel}}$ ) ermittelt.

Parallel zum Vorbeifahrtpegel werden auch die vertikalen und horizontalen Schienen- und die vertikalen Schwellen-

beschleunigungen gemessen. Damit ist es möglich, bei ungünstigen Witterungsbedingungen wie Schnee, Regen und Wind den Vorbeifahrtpegel zu rekonstruieren sowie die Veränderung der Dämpfungscharakteristik der Schienenzwischenlagen und Schienenbefestigungen, hervorgerufen durch die über den Jahresverlauf auftretenden Temperaturänderungen, überwacht werden.

Das System ist in seiner jetzigen Form auf bis zu 16 Kanäle ausbaufähig. Es ist daher geplant, auch die Erschütterungsemissionen zu erfassen. Dafür wird demnächst in 126m Entfernung von der Gleisachse ein Triax-Geophon installiert und in das bestehende Lärmesssystem eingebunden.

Das System **acramos**® liefert zur Zeit für jede Zugvorbeifahrt die folgenden Daten, welche in einer MS-Access-Datenbank abgespeichert werden und für weitere Analysen zur Verfügung stehen:

- Fahrtrichtung und der Geschwindigkeit bzw. des Geschwindigkeitsverlaufs des Zuges
- Achsmuster des Zuges (=Abstände zwischen den einzelnen Achsen)
- Automatische Grobkategorisierung der Züge anhand des Achsmusters
- A-bewerteter Vorbeifahrtpegel  $L_{p,A,eq,T}$  des Zuges
- A-bewerteter Vorbeifahrtpegel  $L_{p,A,eq,T}$  der einzelnen Wagen eines Zuges
- A-bewerteter Vorbeifahrtpegel  $L_{p,A,eq,T}$  jeder einzelnen Achse im Zug
- A-bewerteter Pegelstatistik des Zuges
- Terzspektren des Zuges, der Wagen bzw. der Achsen
- Optionale Aufzeichnung der Zeitsignale
- Erschütterungsverteilung der Zugvorbeifahrt

### Ergebnisse des Bahnlärm-Monitoring-Systems

Aus etwa 12.000 Zugvorbeifahrten in vier Monaten konnten die in Tabelle 1 angegebenen geschwindigkeitsabhängigen Vorbeifahrtpegel ermittelt werden. Diese Werte repräsentieren das Fahrzeugkollektiv im täglichen Betrieb, also keine „goldenen Fahrzeuge“ einer Zulassungsmessung, jedoch unter TSI-Lärm-Messbedingungen [3]. Zur besseren Einordnung der gemessenen Vorbeifahrtpegel sind die Grenzwerte der TSI-Lärm, die für neue Schienenfahrzeuge gelten, ebenfalls bei 80 km/h angegeben.

Man erkennt, dass die neue Generation der Reisezugwagen (BR 80-33, 80-73 und RZ mit Scheibenbremse) sowie der Triebwagen (BR 4024) auch im täglichen Betrieb im Mittel die TSI-Grenzwerte einhalten. Dasselbe gilt für moderne Triebfahrzeuge (BR 1016, 2016). Dieses Ergebnis zeigt, dass die ab etwa 1995 beschafften Vollbahnfahrzeuge, welche die Anforderungen der SchLV'93 [4] erfüllen mussten, zu einer deutlichen Reduktion des Bahnlärms geführt haben.

Durch die automatische Pegel- und Geschwindigkeitserfassung war es erstmals möglich, eine repräsentative Datenbasis über den Vorbeifahrtpegel bremsender Züge zu erhalten. Der A-bewertete Vorbeifahrtpegel erhöht sich bei Fahrzeugen mit Grauguß-Klotzbremse im Mittel um etwa 3 dB, wenn das Fahrzeug bremst. Es muss darauf hingewiesen werden, dass diese Analyse das Bremsquietschen kurz vor dem Still-

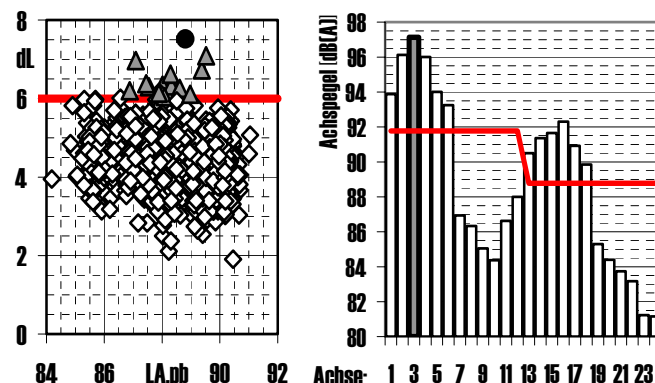
stand des Zuges nicht einschließt, sondern für einen Geschwindigkeitsbereich zwischen etwa 30 und 120 km/h gilt.

Schließlich liefert **acramos**® aber nicht nur Mittelungspegel des gesamte Zuges, sondern auch achsgenaue Emissionspegel. Damit können Züge, deren Emission vom Standard abweicht, automatisch erkannt und entsprechende Informationen an die Verkehrsüberwachung weitergeleitet werden (Abbildung 1).

**Tabelle 1:** A-bewertete Vorbeifahrtpegel der Messkampagne

Zug-Kategorie	Pegel bei 80km/h dB(A)	Geschwindigkeitsfaktor d	TSI-Grenzwert bei 80km/h
Güterzüge	91,7	22,9	82 - 85
Reisezugwagen (Graugußbremse)	88,8	29,2	81
S-Bahngarnitur, BR 4020	85,5	26,5	81
Reisezugwagen (Scheibenbremse)	79,9	26,6	80
Doppelstock-Regionalzug, BR 80-33	79,0	30,7	80
S-Bahngarnitur, BR 4024	77,6	28,6	81
Regionalzuggarnitur, BR 80-73	76,5	33,6	80
Triebfahrzeug-Kategorie	Pegel bei 80km/h dB(A)	Geschwindigkeitsfaktor d	TSI-Grenzwert bei 80km/h
D-Triebfahrzeug, Baureihe 2143	90,1	33,7	85
E-Triebfahrzeug, Baureihe 1044/1144	88,0	14,5	85
E-Triebfahrzeug, Baureihe 1042/1142	87,0	21,5	85
D-Triebfahrzeug, Baureihe 2070	86,3	33,5	85
D-Triebwagen, Baureihe 5047/5147	85,5	9,9	85
D-Triebfahrzeug, Baureihe 2016	80,4	35,7	85
E-Triebfahrzeug, Baureihe 1016/1116	79,6	19,5	85

$L(V) = L(80) + d \lg(V/80)$



**Abbildung 1:** links: Überschreitung des Mittelwertes ( $dL$ ) in Abhängigkeit vom mittleren Vorbeifahrtpegel ( $dL_{A,pb}$ ); rechts: am Einzelachspegel erkennt man für den markierten Zug (●), dass die 3. Achse einen 5 dB höhere Emissionspegel als die entsprechende Achse (15) der 2. TW-Garnitur

### Literatur

[1] Kalivoda M. et. al.: Studie zur Entwicklung der Methoden für ein automatisches Bahnlärm-Monitoring und -management. Untersuchungsbericht (2002-041-018), Wien 2006

[2] Kalivoda M., Jaksch M.: Safety-Instability-Noise; Untersuchungsbericht Bahnlärm-Monitoring (2004-114-107), Wien 2007.

[3] TSI-Lärm: Commission decision of 23-12-2005 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem 'rolling stock - noise' of the trans-European conventional rail system (notified under document number C(2005) 5666).

[4] SchLV'93: Schienenfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung. BGBl BGBl. 414/1993.