

# INTELLIGENTE MASSNAHMEN AUF DEM WEG ZUR LEISEN BAHN

*Ruth Hierzer/ Manfred T. Kalivoda*



## Der rechtliche Rahmen

Höhere Mobilität und ständig steigendes Verkehrsaufkommen führen dazu, dass sich immer mehr Menschen durch Verkehrslärm beeinträchtigt fühlen. Wenngleich die Bahn bei den umweltbezogenen Kosten im Vergleich zu Straße und Luft bei weitem besser abschneidet, gibt es auch hier genügend Potenzial zur Verbesserung. Gerade der Lärm spielt bei der Eisenbahn mit einem Anteil von 17 % eine vergleichsweise bedeutende Rolle bezüglich der anfallenden externen Kosten [vgl. INFRAS, 2004]. In Österreich wurde daher bereits 1993 die Schienenfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung (SchLV) [vgl. BGBl 414/1993] erlassen, mit der man als erstes europäisches Land die Geräuschemission bei Schienenfahrzeugen limitierte. Davon betroffen sind allerdings nur sämtliche ab Juni 1993 in Österreich zugelassene Fahrzeuge; ältere und ausländische Fahrzeuge bleiben ausgenommen.

Selbstverständlich kann das Lärmproblem aber durch den starken internationalen Austausch des Rollmaterials nur auf europäischer Ebene gelöst werden. In der Europäischen Union führte dieses Bewusstsein über die Vereinheitlichung der Vorschriften für die Interoperabilität des Schienenverkehrs auf den transeuropäischen Bahnnetzen zu einer Begrenzung der Geräuschemission. Konkret wurden zunächst 2003 in der Technischen Spezifikation für Interoperabilität (TSI) des Hochgeschwindigkeits-Eisenbahnverkehrs ( $v \geq 250$  km/h) Grenzwerte für neu zugelassene Hochgeschwindigkeitszüge definiert [vgl. TSI-HS, 2002]; seit Juni 2006 gelten entsprechende Grenzwerte konventionelles transeuropäisches Rollmaterial aus der TSI-Noise [TSI NOISE, 2005]. Ähnlich wie bei der österreichischen SchLV gelten die Geräuschgrenzwerte der europäischen Vorschriften nur für neu zugelassene Fahrzeuge.

## Schallschutzmaßnahmen aus volks- und betriebswirtschaftlicher Sicht

Bekämpfung des Lärms an der Quelle ist aus volkswirt-

schaftlicher Sicht jedenfalls zu bevorzugen, zumal fahrzeugseitige Maßnahmen dem Prinzip der Kostenwahrheit nach dem Verursacherprinzip entsprechen. Problematisch wird es in der praktischen Umsetzung allerdings durch die getrennten Verantwortlichkeiten in einem deregulierten Eisenbahnunternehmen. Während der Infrastrukturbetreiber für die Einhaltung der Geräuschmmissionsgrenzwerte verantwortlich ist, kann eine Senkung der Geräuschemission der Schienenfahrzeuge nur durch Investitionen seitens Fahrzeugeigentümer und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) erreicht werden. In der Praxis bleibt dem Infrastrukturbetreiber daher meist keine andere Wahl, als teure Lärmschutzwände entlang weiter Strecken des Eisenbahnnetzes zu errichten.

Das EU Projekt STAIRRS [vgl. STAIRRS, 2003] hat für das österreichische Vollbahnnetz ergeben, dass etwa 90 % der Personen, welche heute einem Tag-Abend-Nacht-Pegel LDEN von mehr als 65 dB(A) ausgesetzt sind, durch eine Reduktion der Güterwagenemissionspegel von 7 dB(A) und ergänzende, maximal 2 m hohe Lärmschutzwände geschützt werden können, d.h. der LDEN kann unter 65 dB(A) gesenkt werden. Dieser Schutz verursacht bei etwa gleichem Effekt für die Bevölkerung nur etwa zwei Drittel der Kosten, welche 4 m hohe Lärmschutzwände alleine verursachen würden. Das bedeutet: an besonders stark belasteten Streckenabschnitten werden Lärmschutzwände immer erforderlich sein – allerdings als Ergänzung zu Maßnahmen an der Quelle.

Aufgrund der langen Nutzungsdauer von Schienenfahrzeugen von 30 bis 40 Jahren sind flankierende Maßnahmen zu den erwähnten Richtlinien zu setzen, da andernfalls eine Verbesserung der Situation aus der Begrenzung der Geräuschemission für Neufahrzeuge heraus erst in Jahrzehnten für die Betroffenen bemerkbar wäre. Dies gilt umso mehr als wenige leise Fahrzeuge im Zugverband keine wesentliche Verbesserung ergeben – dargestellt in Abbildung 1 durch die rote Linie.

Die Grafik zeigt den beim Anrainer gemessenen LDEN

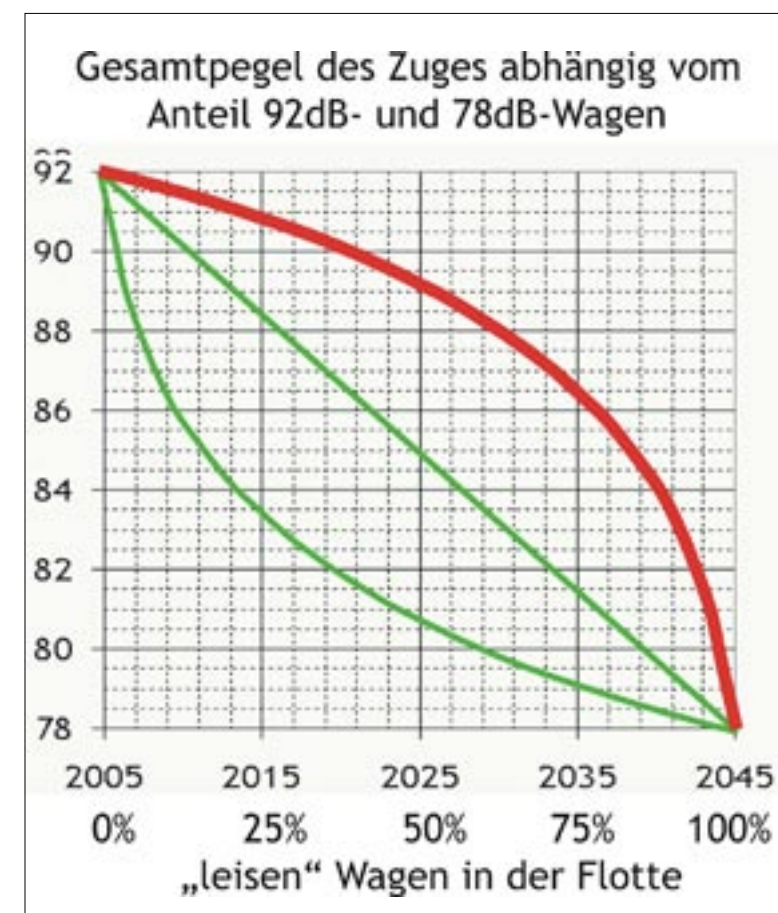


Abb. 1: Entwicklung des Immissionspegels in Abhängigkeit vom Anteil lärmarmen Fahrzeuge an der Gesamtflotte

in Abhängigkeit vom Anteil der lauten (92 dB) und der leisen (78 dB) Wagen in vorbeifahrenden Zügen. Liegt der Anteil der lärmarmen Wagen bei 50%, reduziert sich der LDEN erst um 3 dB, beträgt der Anteil der Wagen mit 78 dB auch 90%, liegt der LDEN noch auf 83%. Erst bei nahezu 100% lärmarmen Wagen fällt auch der LDEN entsprechend ab.

Man benötigt also ein Steuerungsinstrument, um die Geräuschminderungsmaßnahmen für die betroffenen EVUs bzw. Wageneigentümer zumindest kostenneutral zu machen. Eine direkte Förderung bzw. Subventionierung von geräuschmindernden Maßnahmen an lauten Schienenfahrzeugen ist aus wettbewerbsrechtlichen

Aspekten in der EU nicht möglich, da Eigentümer von (alten und lauten) vorhandenen Schienenfahrzeugen bevorzugt würden gegenüber jenen Unternehmen, welche in neue (leise) Fahrzeuge investieren. Ein für alle Benutzer fairer Anreiz ist durch die Berücksichtigung der Geräuschemission in der Festlegung der Höhe des Infrastrukturbenutzungsentgeltes (IBE) gegeben. Leise Schienenfahrzeuge zahlen unabhängig von ihrer Konstruktionsart oder ihrem Alter weniger als laute Fahrzeuge. Infrastruktureitig können Kosten beim passiven Lärmschutz eingespart werden; diese Kostenersparnis kann an die EVU's und Fahrzeugeigentümer weitergegeben werden, welche die Mehrkosten für geräuschmindernde Maßnahmen am Fahrzeug tragen müssen.





## Lärmabhängiges Infrastrukturbenutzungsentgelt

Im Oktober 2007 fand ein international besetztes Symposium in Wien statt, an dem europaweite Experten das Thema lärmabhängiges Infrastrukturbenutzungsentgelt aus Betreiber- und Behördensicht diskutierten. Einig war man sich, dass der Güterverkehr als wichtigste Lärmquelle zu nennen ist, da der Großteil des in Europa verkehrenden Wagenmaterials aufgrund seiner Langlebigkeit vor Einführung nationaler oder europäischer Richtlinien zur Reduktion der Schallemission von Schienenfahrzeugen zugelassen wurde. Diese Wagen sind – wie damals üblich – mit Grauguss-Klotzbremsen ausgerüstet, die bei jedem Bremsvorgang das Rad aufrauen und zur sog. Verriffelung der Radlaufläche führen. Durch diese Riffel werden beim ungebremsten Rollen des Rades sowohl die Schiene als auch das Rad zu Schwingungen angeregt, welche in Folge als hörbarer Schall – dem Vorbeifahrtgeräusch – wahrgenommen wird.

Auch die EU bekennt sich klar zu Maßnahmen an der Quelle und sieht die dringende Notwendigkeit einer Umrüstung bestehender Güterwagen auf lärmarme Bremssohlen. Ein Vertreter der Europäischen Kommission – DG TREN unterstrich bei diesem Symposium, dass das Lärmproblem sicherlich nur auf europäischer Ebene gelöst werden könne und wies gleichzeitig darauf hin, dass der größte Anteil an Güterwagen deutscher, polnischer oder rumänischer Herkunft seien. Hier findet sich also sicher ein wichtiger Ansatzpunkt.

Die Kommission prüft im Moment Instrumente zur Förderung der Nachrüstung von Verbundstoffsohlen hinsichtlich ihrer Eignung zur Erreichung der umwelt- und verkehrspolitischen Ziele wobei direkte Beihilfen und differenzierte Trassenpreise im Fokus der Diskussionen stehen.

Sowohl Vertreter des schweizerischen Bundesamts für Umwelt wie auch des deutschen Umweltbundesamts

(UBA) waren sich einig, dass Bezuschussung keine Lenkungswirkung hat. Außerdem ist eine Direktförderung nur dann wirksam, wenn sie europaweit umgesetzt wird, wovon derzeit laut dem deutschen UBA nicht ausgegangen werden kann. Man sieht daher Vorteile in einem Bonusssystem für emissionsabhängige Trassenpreise, das noch zusätzliche Innovationsanreize liefern kann.

Ein Modell zum lärmabhängigen IBE basierend auf ein Bonus-System wurde auch von der TU Wien gemeinsam mit psiA-Consult in der ISB-Studie „Bahnlärm-Monitoring und –Management“ entwickelt.

Es wurde ein Modell zur Berücksichtigung der Geräuschemission des Einzelfahrzeuges bei der Ermittlung des IBE (des Zuges) entwickelt, das ganz besonderen Augenmerk auf die Integrationsmöglichkeit in vorhandene Strukturen und Systeme zur IBE-Ermittlung legt. Änderungs- und Anpassungserfordernisse wurden – wo notwendig – aufgezeigt.

Gleichzeitig wurden Messmethoden zur Erfassung der Geräuschemission von Einzelfahrzeugen im fahrplanmäßigen Betrieb entwickelt und in ersten Feldversuchen praktisch umgesetzt. Die weitere Erprobung der Monitoring-Messstationen wird bereits im Rahmen des ISB2-Projektes SIN (Safety – Instability – Noise) durchgeführt. (Siehe Beitrag Kalivoda).

Aus der Synthese der beiden Arbeitspakete wurden Handlungsempfehlungen für die Umsetzung in Österreich abgeleitet.

Prinzipiell stehen zur Lärmklassifizierung drei grundsätzliche Methoden zur Verfügung:

- *Stufe 1 - Klassifizierung nach konstruktiven Merkmalen:*

Bei dieser Methode handelt es sich im Wesentlichen um eine Beurteilung des Lärmpegels nach der Bremsbauart des Wagenmaterials. Der Vorteil liegt darin, dass die Anwendung sehr einfach ist und keine Geräuschemessungen erfordert. Dass der Zu-





Infrastrukturbenutzungsentsgelt-Lärm...



oder doch kein IBE-L?

sammenhang zwischen tatsächlicher Geräuschemission und Bremsbauart signifikant ist, konnte durch Messungen bereits hinreichend belegt werden. Eine derartige Vorgehensweise kann damit gerechtfertigt werden, wenngleich tatsächlich auftretende Geräuschemissionen nur bedingt abgebildet werden.

■ *Stufe 2 - Klassifizierung nach dem Zulassungspegel des Schienenfahrzeuges:*

Hier ist der Zulassungspegel, also die Geräuschemission bei der Typenzulassung gemäß SchLV oder TSI-Noise, die Eingangsgröße für die Bemessung des IBE-L. Das Modell ist bereits selektiver als die Beurteilung nach konstruktiven Merkmalen, jedoch muss vorausgesetzt werden, dass für alle Fahrzeuge Zulassungswerte vorhanden sind. Da es in Europa

bisher keine Verpflichtung zur Überprüfung der Geräuschemission bei der Fahrzeugzulassung gab, kann davon nicht ausgegangen werden.

Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass auch in dieser Modell-Stufe 2 die tatsächlichen Emissionspegel im Betrieb nicht berücksichtigt und Unzulänglichkeiten wie Flachstellen nicht erfasst werden.

■ *Stufe 3 - Klassifizierung nach dem tatsächlich gemessenen Geräuschpegel:*

Das IBE-L richtet sich in der Modell-Stufe 3 nach der tatsächlich im Betrieb gemessenen Geräuschemission und ist somit die objektivste Klassifizierungsmethode. Jedoch muss dazu eine Messmethode zur Verfügung stehen, die zu jeder Zeit und unter den un-

terschiedlichsten Umwelt- und Betriebsbedingungen verlässliche und nachvollziehbare Ergebnisse liefert. Außerdem ist der administrative Aufwand hinsichtlich einer wagengenaue Zugerfassung, die zur Umsetzung notwendig ist, unter den heute gegebenen Randbedingungen als relativ hoch einzuschätzen.

### Grundsätze des IBE-L Modells

Die Berücksichtigung der Lärmkomponente soll für die Bahn keinen Wettbewerbsnachteil bringen, weshalb dem IBE-L Modell folgende Philosophie zu Grunde gelegt wurde:

- Leise Fahrzeuge erhalten einen Abschlag zum IBE – den Lärm-Bonus
- Laute Fahrzeuge bezahlen das volle IBE  
Ausnahme: sehr laute Triebfahrzeug- und Triebzugkategorien des Bestandes mit einem Vorbeifahrtspegel von über 88 dB weisen in der Grundstufe ein „Malus“ auf.
- Berechnungsbasis ist der A-bewertete Vorbeifahrtspegel gemäß TSI-Noise bei 80 km/h in 7,5 m Entfernung vom Gleis. Damit bleibt die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Lärmemission unberücksichtigt, um etwa eine Schlechterstellung schneller (weil lauterer) Züge zu vermeiden.
- Der Bonus hängt von der Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik und nicht vom absoluten Emissionspegel ab.
- Für unterschiedliche Fahrzeugkategorien ist es unterschiedlich schwierig, einen bestimmten Pegel zu erreichen: 80 db(A) sind mit einem Reisezug leichter einzuhalten als mit einer Diesellok; deshalb soll eine Diesellok mit Vorbeifahrtspegel 80 dB(A) einen höheren Bonus erhalten als ein 80 dB(A) Reiszugwagen.
- Außerdem erhalten Fahrzeuge des Bestandes (pre-TSI-Fahrzeuge), welche keine TSI-Grenzwerte zur Zulassung einhalten mussten, einen höheren Bonus als Fahrzeuge, welche bereits den Grenzwerten der TSI unterliegen (post-TSI-Fahrzeuge). In der Praxis erhält ein pre-TSI-Güterwagen mit einem Vorbeifahrtspegel von 81 dB(A) einen Bonus, während ein post-TSI-Güterwagen mit 81 dB(A) keinen Bonus gutgeschrieben bekommt.



Egal. Hauptsache die Bahnhöfe bleiben nicht leer.

Eine Einführung in zwei Schritten erscheint sinnvoll, wobei die erste Stufe einfach einzuführen und umzusetzen sein muss, sich aber stufenweise bis zu einem „kontinuierlichen Lärm-Monitoring“ ausbauen lässt.

*IBE-L basiert auf Zulassungspegel (Stufe 2 Modell):*

Die Methode zur Ermittlung des Zulassungspegels ist mit den Vorgaben der TSI fachlich gesichert und außer jeder Diskussion. Basis ist der A-bewertete Vorbeifahrtspe-

gel gemäß TSI-Noise bei 80 km/h. Messzertifikate für post-TSI-Fahrzeuge liegen in jedem Fall vor; sind keine Messwerte vorhanden (pre-TSI-Fahrzeuge), kann wie bereits beschrieben nach konstruktiven Merkmalen kategorisiert werden. Die Geschwindigkeit (schnelle Fahrzeuge sind lauter) bleibt unberücksichtigt.

Im ersten Schritt ist somit kein Geräusch-Messnetz erforderlich, wodurch eine kurzfristige Umsetzung möglich ist. Durch das Aussparen der messtechnischen Herausforderung, kann man sich zunächst auf die Optimierung der IBE-L Verrechnungsabläufe konzentrieren.

*IBE-L wird auf den tatsächlichen Emissionspegel umgestellt (Stufe 3 Modell):*

Die Umstellung auf Modell-Stufe-3 sollte somit im System relativ einfach erfolgen können, da sich nur die Herkunft des verzeichneten Wertes ändert, der als Berechnungsbasis dient, nicht aber die Verrechnungsmethode selbst.

## Erfassung der Geräuschemission von Zügen des Regelbetriebes (Bahnlärm-Monitoring)

Für die Umstellung des IBE-L auf den tatsächlichen Emissionspegel ist es unbedingt erforderlich, zuverlässige Methoden zur Messung des Vorbeifahrtgeräusches von individuellen Schienenfahrzeugen in einem Zugverband und unter Bedingungen des täglichen Bahnbetriebs zu besitzen.

Im letzten Jahrzehnt wurden große Fortschritte bei den Methoden zur Messung der Eisenbahngeräuschemission getätigt. Die EU-Forschungsprojekte MetaRail [vgl. MetaRail, 2000] und STAIRRS [vgl. STAIRRS, 2003] haben die Reproduzierbarkeit von Zulassungsmessungen mit einem Streubereich von nur 0,7 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 einem 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.

Die Voraussetzungen für optimale Messbedingungen bei kontinuierlichen Monitoring-Messungen weichen in vielen Fällen von den optimalen Bedingungen, die oftmals bei einer Zulassungsmessung erzielt werden können bzw. müssen, deutlich ab. Fahrwegeigenschaften, wie etwa die Schienenrauigkeit, die unterschiedlichen Züge und deren Betriebszustände, die Umwelteinflüsse wie schlussendlich auch die Messprozedur sind maßgebende Parameter, die bei Lärmessungen berücksichtigt werden müssen.

Prinzipiell kann man unter folgenden Einflussparametern unterscheiden:

- Fahrwegzustand: (Schienenrauigkeit, Schienentyp, unterschiedliche Oberbauformen, Schwellen, Art der Schienenbefestigung, Steifigkeit der Zwischenlagen, Besohlung, Decay Rate, etc.)
- Messprozedur: (Anzahl der Vorbeifahrten, Positionen und Anzahl der Mikrofone sowie Beschleunigungsaufnehmer, Triggerung etc.)
- Umwelteinflüsse: (Witterungsbedingungen wie Windrichtung Windstärke, Temperatur, Luftfeuch-

tigkeit, gefrorenes Schotterbett, Schnee aber auch andere Einflüsse wie etwa Umgebungslärm, andere Lärmquellen, Verbauungen - freies Schallfeld, etc.)

- Waggons, Art der Züge und unterschiedliche Betriebszustände: (scheiben-, k-Sohle- und Graugußgebremste Waggons, Radrauhigkeit, Güterzüge, Personenzüge, Cityshuttles, Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung bzw. Bremsen, etc.)

Während man den Fahrwegzustand und die Messprozedur sehr gut beherrschen, d.h. kontrolliert konstant halten kann, sind die Umwelteinflüsse (bei Messungen im Freifeld) und die Fahrzeugeinflüsse sehr schwer kontrollierbar. Ein Verfahren für das Bahnlärm-Monitoring kann daher nicht eins-zu-eins Methoden der Fahrzeugzulassung übernehmen, sondern muss speziell die geänderten Messbedingungen berücksichtigen.

## Das automatische Bahnlärm-Monitoring-System acramos® der ÖBB

### Systembeschreibung

Die ÖBB-Infrastruktur BauAG, Stabstelle Forschung & Entwicklung, betreibt seit Juli 2006 an der Nordbahn bei km 14,5, nördlich von Wien eine automatische Bahnlärm-Monitoring-Anlage. Das Monitoring-System acramos®, acoustic railway monitoring system, ist im Zuge des von BMVIT und unterstützten Projekts SIN von psiA-Consult in Zusammenarbeit mit der Firma Woelfel Messsysteme Software GmbH & Co entwickelt worden. Mit acramos ist es möglich, die Geräuschemission von Einzelfahrzeugen und -achsen zu erfassen.

Gemeinsam mit dem Vorbeifahrtpegel und den Erschütterungen wird das Achsmuster des 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-Wendzug, Reisezug, Güterzug, Lokbaureihe) zugeordnet werden. Diese Zuordnung erfolgt

automatisch aus dem Achsmuster und unabhängig von bahninternen Zugüberwachungssystemen.

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 Radensoren, 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 Zugsvorbeifahrt 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 (=Achspannung) 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. Zurzeit werden 29 Zugkategorien verwendet.

Durch die Verwendung von mehr als einem Messquerschnitt wird die Repräsentativität der Ergebnisse verbessert. Zusätzlich kann mit Hilfe der beiden Radsensoren eine Richtungserkennung durchgeführt und die Geschwindigkeit pro Achse (vmin, vmax und vmittel) während einer Zugsvorbeifahrt ermittelt werden.

Parallel zum Vorbeifahrtpegel werden auch die vertikalen und horizontalen Schienen- und die vertikalen Schwellenbeschleunigungen 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 Monitoring-System acramos liefert zurzeit 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 (Abb. 1)
- 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 - bewertete Pegelstatistik des Zuges
- Terzspektren des Zuges, der Wagen bzw. der Achsen
- Generischer (witterungsunabhängiger) Vorbeifahrtpegel aus den Schienenschwingungen
- Optionale Aufzeichnung der Zeitsignale
- Erschütterungsverteilung der Zugvorbeifahrt

### Ergebnisse

Das Monitoring-System acramos liefert Ergebnisse für 4 unterschiedliche Zwecke und Zielsetzungen

- (Input-)Daten für Geräuschprognosemodelle
- Daten mit umweltpolitischem Focus
- Identifikation von Achsen mit außergewöhnlich hoher Geräuschemission
- Geräuschemission des Einzelfahrzeuges im Zug als Input für die IBE-L-Ermittlung

#### (Input-)Daten für Geräuschprognosemodelle

Die Vielzahl an kategorisierten Geräuschmessdaten kann dazu verwendet werden, statistisch gut abgesicherte Pegelwerte für Geräuschprognosemodelle, wie etwa die ONRegel 305011 [vgl. ONRegel 305011, 2004] in Österreich oder die Schall03 [vgl. Schall 03, 1990] in Deutschland, zu erhalten. Diese Prognosemodelle sind unabdingbar für die Bemessung von bahnbegleitenden Schallschutzmaßnahmen oder für die Erstellung der Rasterlärnkarten gem. Bundes-Umgebungslärmgesetz [vgl. Bundes-LärmG, 2005].

Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Erhöhung des Vorbeifahrtpegels von Güterzügen, wenn sie bremsen. Man erkennt, dass der mittlere A-bewertete Vorbeifahrtpegel in 7,5m Entfernung von der Gleisachse um rund 3 dB höher ist, wenn der Güterzug nicht mit konstanter Geschwindigkeit vorbei rollt, sondern bremst.

#### Daten mit umweltpolitischem Focus

Die Umwelt- und Verkehrspolitik benötigt Daten über Langzeittrends und die Auswirkungen von gesetzten Maßnahmen. Durch die Zuordnung der Messdaten zu Zugkategorien kann aufgezeigt werden, welche Kategorie von Zügen welchen Beitrag zum Gesamtgeräuschpegel der Bahnstrecke leistet. In dem Beispiel in Abbildung 3 sieht man, dass die Güterzüge das Geräusch in der Nacht dominieren. Man erkennt aus dieser Grafik auch, dass geräuschreduzierende Maßnahmen primär bei den Güterzügen gesetzt werden müssen, um für die Anrainer eine spürbare Verbesserung zu erreichen.

#### Identifikation von Achsen mit außergewöhnlich hoher Geräuschemission

Der Bahnbetrieb stellt an ein Monitoring-System Anforderungen hinsichtlich Erkennung von Fahrzeugen mit außergewöhnlich hoher Geräuschemission. Hier soll das Monitoring-System die entsprechenden Achsen im Zug identifizieren und die Daten sofort weitermelden. Das Beispiel in Abbildung 4 zeigt den sogenannten Abweichungsindex von Zugvorbeifahrten. Liegt dieser Index über einem bestimmten Schwellwert, dann bedeutet,

das, dass dieser Zug eine Achse mit außergewöhnlich hoher Geräuschemission besitzt.

Das Bild der entsprechende Einzelachspegel des Zuges zeigt für den Zug in Abbildung 4 mit Abweichungsindex größer 9, dass die 4. Achse des Zuges einen um etwa 10 dB höheren Emissionspegel besitzt als im Normalfall (Abbildung 5). Diese Informationen können vom Monitoring-System bereits wenige Sekunden nach der Zugdurchfahrt im Messquerschnitt an die entsprechende Überwachungsstelle weitergeleitet werden. Damit können sehr rasch Maßnahmen zur Behebung des Schadens gesetzt werden. Das ist nicht nur ein Vorteil für den Lärmschutz, sondern auch für den Fahrzeugeigentümer und den Infrastrukturbetreiber. Denn eine rasche Behebung von Schäden an der Radlauffläche erhöht die Sicherheit und spart Kosten.

#### Geräuschemission des Einzelfahrzeuges im Zug als Input für die IBE-L-Ermittlung

Und zu guter Letzt geht es beim Bahnlärm-Monitoring um die Erfassung der Geräuschemission jedes einzelnen Schienenfahrzeuges im Zug, um die Höhe des IBE-L ermitteln zu können. Das Problem bei der Messung der Einzelachs- bzw. Einzelfahrzeugpegel ist die Tatsache, dass laute Fahrzeuge/Achsen das Ergebnis der benachbarten leisen Fahrzeuge/Achsen beeinflussen, bei der Messung des Vorbeifahrtpegels kommt es zu einer akustisch „Verdeckung“ der leisen Fahrzeuge durch die lauten. Das bedeutet, dass der gemessene Pegel einer leisen Fahrzeugachse bzw. eines leisen Fahrzeuges nicht dem tatsächlichen Vorbeifahrtpegel des Fahrzeuges entspricht, wenn ein lautes Fahrzeug oder eine laute Achse direkt vor oder nach dem untersuchten Fahrzeug im Zug läuft.

Hat man bei Zulassungsmessungen noch die Möglichkeit, das beschriebene Phänomen durch geeignete Reihung der Fahrzeuge im Messzug zu beherrschen, so hat man bei Monitoring-Messungen des Schienenverkehrs, d.h. bei der Überwachung der Geräuschemission von Zügen im täglichen Betrieb, keinen Einfluss mehr auf

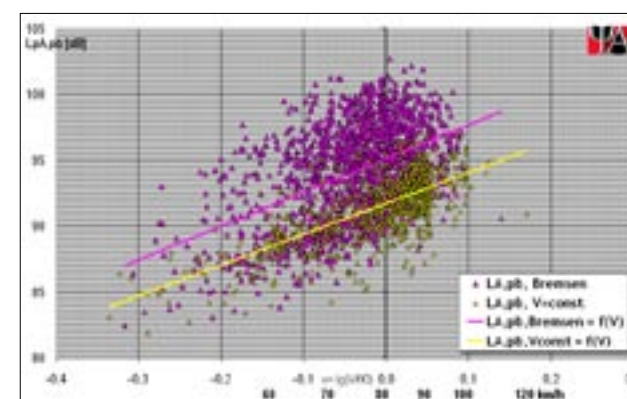


Abb.2: mittlere A-bewertete Vorbeifahrtpegel in 7,5m Entfernung für Güterzüge mit  $V=const.$  und bremsend

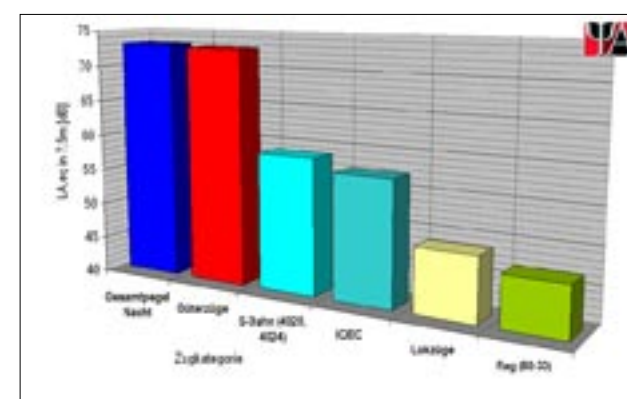


Abb.3: mittlere A-bewertete Dauerschallpegel in 7,5m Entfernung je Zugkategorien

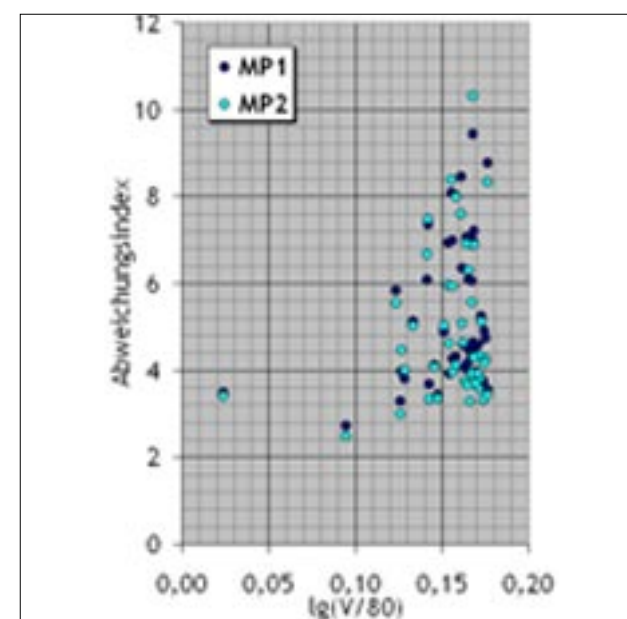


Abb.4: Abweichungsindex für die Zugkategorie „CD 680“

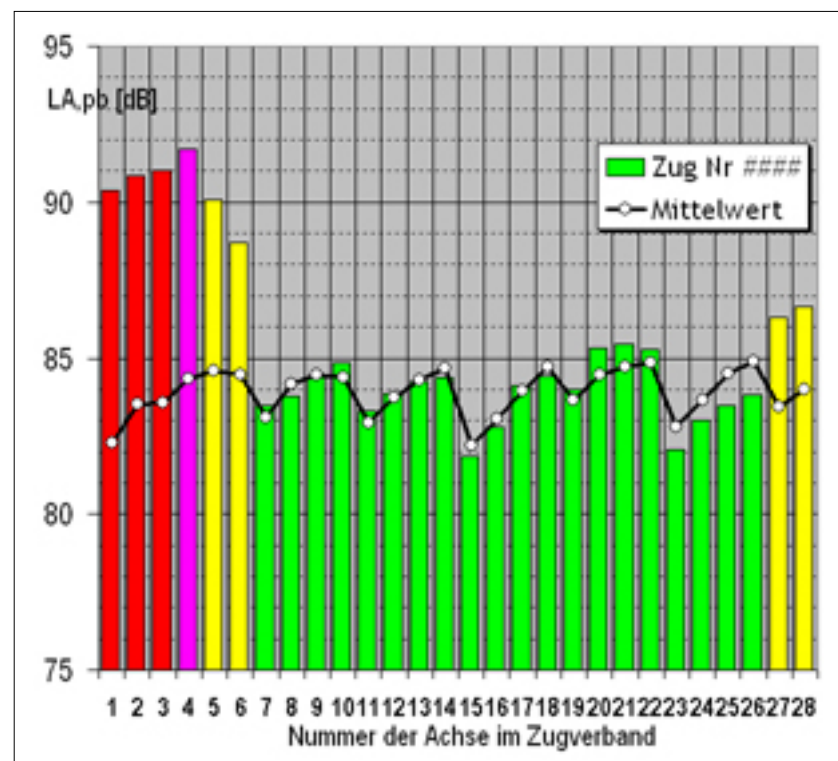


Abb. 5: A-bewertete Vorbeifahrtpegel der einzelnen Achsen für den Zug mit Abweichungsindex >9

die Reihung von lauten und leisen Fahrzeugen. Die Folge ist, dass man bei diesen Messungen falsche Schlüsse über die Geräuschemission von einzelnen Fahrzeugen im Zug ziehen kann, wenn es nicht gelingt, durch geeignete Verfahren die gegenseitige akustische Beeinflussung der Wagen zu eliminieren und somit die tatsächliche Geräuschemission der einzelnen Fahrzeuge analytisch zu rekonstruieren.

Untersuchungen mit den Messdaten von acramos haben gezeigt, dass es möglich ist, aus dem zeitlichen Verlauf des Pegels während der Zugvorbeifahrt und der Zuordnung des Pegels zur Position der Achsen den tatsächlichen Einzelachspegel von Schienenfahrzeugen in einem Zugverband analytisch zu rekonstruieren. Dieses Verfahren wird in den nächsten Monaten in das Monitoring-System implementiert und soll so die erforderlichen Daten für die Bemessung des IBE-L liefern.

### Schlussfolgerungen

Die Betreiber der Bahninfrastruktur werden künftig nicht nur vermehrt sicherheitsrelevante Daten der auf ihrem Streckennetz verkehrenden Schienenfahrzeuge erfassen, sondern auch Informationen über die tatsächliche Geräuschemission der Wagen und Züge. Diese Informationen können in der Folge dazu verwendet werden, ein verursachergerechtes Infrastrukturbenützungsentgelt (IBE) einzuheben. Das BMVIT hat im Rahmen der Forschungsinitiative Innovatives System Bahn (ISB) die hier vorgestellte Entwicklung der notwendigen Methoden zur permanenten, automatischen Überwachung der Geräuschemission von Schienenfahrzeugen im Regel-





betrieb gefördert.

Im Rahmen dieser Studie wurde ein entsprechendes Verrechnungsmodell entwickelt, wobei Hauptaugenmerk auf die Anforderungen einer möglichst einfachen Umsetzung in der Praxis gelegt wurde. Vorgeschlagen wir daher ein Stufenmodell, bei dem im ersten Schritt die Verrechnung der Geräuschemission basierend auf

den Schallpegeln der Fahrzeugzulassung erfolgt; später sollen die im Betrieb durch ein Geräusch-Monitoring-System tatsächlich gemessenen Emissionen als Verrechnungsbasis dienen.

In der Folge wurde von der psiA-Consult GmbH für die ÖBB Infrastruktur BauAG das Monitoring-System acramos entwickelt, welches die Geräusch- und Er-

*DI Dr. techn. Manfred T. Kalivoda studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Wien und ist derzeit nicht nur geschäftsführender Gesellschafter psiA-Consult Umweltforschung und Engineering GesmbH, sondern auch Sachverständiger für Schallmessungen im Akkreditierungsverfahren sowie u.A. Lehrbeauftragter an der Universität für Bodenkultur Wien bzw. der Fachhochschule Technikum Wien.*

*Nach dem Studium der Richtung Bauingenieurwesen in Graz arbeitete Dipl.-Ing. Ruth Hierzer als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der ETH Zürich bevor sie 2003 ans Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen an der TU Wien wechselte. Seit Jänner 2007 ist sie daneben als Generalsekretärin im RTCA - Rail Technology Cluster Austria tätig.*



schütterungsemission von Schienenfahrzeugen des Regelbetriebs automatisch und fahrzeugselektiv erfasst. Das System acramos erfasst gemeinsam mit dem Vorbeifahrtpegel und den Erschütterungen das Achsmuster des Zuges und kann damit nicht nur die Emissionen jeder einzelnen Achse ermitteln, sondern auch die gemessenen Vorbeifahrtpegel automatisch vordefinierten Zugkategorien (z.B. S-Bahn, Doppelstock-Wendezug, Reisezug, Güterzug, Lokbaureihe) zugeordnet werden. Das Monitoring-System ist seit Juli 2006 an der Nordbahn bei Deutsch Wagram nördlich von Wien in Betrieb und hat in der Zwischenzeit schon sehr aufschlussreiche Informationen und Daten geliefert. ■

## Literaturverzeichnis

**INFRAS:** External Costs of Transport – Update Study, 2004, Zürich/Karlsruhe.

**BGBI 414/1993,** Schienenfahrzeug-Lärmzulassungsverordnung

**TSI-HS:** Commission decision of 30 May 2002 concerning the technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem of the trans-European high-speed rail system referred to in Article 6(1) of Directive 96/48/EC (2002/735/EC).

**TSI NOISE:** Commission decision of 23 December 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).

**STAIRRS:** Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems. F&E-Projekt im 5. Forschungsrahmenprogramm der EU, DG TREN; Endbericht 2003

**MetaRail:** Methodologies and Actions for Rail Noise and Vibration Control. F&E-Projekt im 4. Forschungsrahmenprogramm der EU, DG VII (Contract no RA-97-SC.1080); Summary report 20-09-2000.

**ONRegel 305011:** Berechnung der Schallimmission durch Schienenverkehr – Zugverkehr, Vershub- und Umschlagbetrieb. Ausgabe 1. Sept. 2004

**Schall 03:** Richtlinien zur Berechnung der Schallemissionen von Schienenwegen. Ausgabe 1990

**Bundes-LärmG:** Bundesgesetz über die Erfassung von Umgebungslärm und die Planung von Lärminderungsmaßnahmen. BGBI. Teil I Nr. 60/2005, Ausgegeben am 4. Juli 2005

# IMPRESSUM

**GF**  
**Chefredaktion**  
**Redaktion**  
**Didaktik**  
**Grafik**  
**Autoren**

Alex Schubert  
Alex Schubert  
Manuela Schubert  
Pamela Schubert  
Hannes Horvath  
Harald Bollmann  
Bernhard Rieger  
Elmar Fürst  
Ruth Hierzer  
Manfred Kalivoda  
Alex Schubert  
Erik Wolf

**Druck** Niederösterreichisches Pressehaus

**Heftpreis** Einzelheft: € 8,-  
Jahresabo über 4 Ausgaben:  
Jahres-Abo € 28,-  
(inkl. Porto und Versand)  
Studenten-Abo € 20,-  
(inkl. Porto und Versand)  
Professoren-Abo € 30,-  
(inkl. Porto, Versand & 1/8 Rotwein)

**Abonnenten-Service** T +43 (0)664/517 09 69  
abo@verkehrsjournal.at

**Erscheinungsweise** vierteljährlich

**Internet** www.verkehrsjournal.at

**Adresse** Josef Weinheber Platz 4/15,  
A-1140 Wien, T +43 (0)664/517 09 69,  
office@verkehrsjournal.at

**Bankverbindung** Bank Austria Creditanstalt  
Konto Nr. 52780611001, BLZ 12000  
IBAN AT51 1200 0527 8061 1001  
BIC BKAUAATWW

**Gerichtsstand** Handelsgericht Wien

**Nächste Ausgabe** KW 32

Österreichs erstes wissenschaftliches Verkehrsjournal wird vier mal pro Jahr veröffentlicht und widmet sich jeweils einem verkehrsspezifischen Schwerpunktthema.

Nächste Ausgabe: Dem Nachwuchs eine Chance