

# Wahrnehmbarkeit akustischer Signale der Bahnfahrzeuge an Bahnübergängen

*Eine Studie an der TU Dresden ermittelte Grenzen der Hörbarkeit von Warnsignalen in Kraftfahrzeugen.*



Abb. 1: Pfeiftafeln vor dem BÜ eines Waldwegs

Eric J. Schöne  
Robert Bagola

Akustische Signale der Eisenbahnfahrzeuge dienen unter anderem der Warnung von Straßenverkehrsteilnehmern an Bahnübergängen (BÜ). Neben dem bedarfsweisen Einsatz in Gefahrensituationen stellen diese Signale nach gegenwärtiger Rechtslage in Deutschland auch eine reguläre nichttechnische Sicherungsart dar. Sie müssen unter bestimmten Bedingungen eine Sicherung durch Übersicht ergänzen oder dürfen diese ersetzen.

Die BÜ-Sicherung regelt § 11 der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO). Dort ist eine Sicherung „durch die Übersicht auf die Bahnstrecke in Verbindung mit hörbaren Signalen der Eisenbahnfahrzeuge“ für eingleisige Nebenbahnen mit mäßigem Straßenverkehr zugelassen. Eine alleinige Sicherung durch „hörbare Signale der Eisenbahnfahrzeuge“ ist in folgenden Fällen erlaubt [1]:

- bei schwachem Straßenverkehr und eingleisigen Nebenbahnen, wenn die Geschwindigkeit der Eisenbahnfahrzeuge am BÜ höchstens 20 km/h (bei Feld- und

- Waldwegen höchstens 60 km/h) beträgt;
- bei mäßigem Straßenverkehr unter den gleichen Bedingungen wie bei schwachem Straßenverkehr, jedoch nur mit besonderer Genehmigung der Aufsichtsbehörde;
- bei Fuß- und Radwegen;
- bei Privatwegen ohne öffentlichen Verkehr, sofern die Geschwindigkeit der Eisenbahnfahrzeuge am BÜ höchstens 60 km/h beträgt.

Die Stellen, an denen die akustischen Signale von den Triebfahrzeugführern abzugeben sind, werden abhängig von den Zeit-Weg-Abläufen für jeden BÜ berechnet und durch Pfeiftafeln (Abb. 1) gekennzeichnet.

Für die Straßenverkehrsteilnehmer wurde diese Sicherungsart mit der jüngst erfolgten Neufassung der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) erstmals ausdrücklich erwähnt. Demnach ist unter anderem vor dem BÜ zu warten, wenn „ein hörbares Signal, wie ein Pfeifsignal des herannahenden Zuges, ertönt“ [2].

Der sowohl in der EBO als auch in der StVO genutzte Begriff der „hörbaren Signale“ wird im weiteren Verlauf des Beitrags vermieden, da gerade die Eigenschaft der Hörbarkeit in der vorliegenden Untersuchung zu überprüfen war. Stattdessen findet die allgemeinere

Bezeichnung „akustische Signale“ Anwendung.

Vorgaben zur Beschaffenheit der Signalgeber und Signaltöne enthalten die eisenbahnspezifischen Normen. So schreibt der UIC-Kodex 644 „Akustische Signaleinrichtungen der im internationalen Verkehr eingesetzten Triebfahrzeuge“ einen Frequenzbereich von 360 bis 380 Hz sowie von 645 bis 675 Hz vor, wobei in einem Abstand von 5 m vor dem Signalgeber ein Schalldruckpegel von 120 bis 125 dB(A) erreicht werden muss [3]. Vergleichbare Vorgaben enthält auch die EN 15153-2 „Bahnanwendungen – Optische und akustische Warneinrichtungen für Schienenfahrzeuge“ [4]. Somit existieren detaillierte Vorgaben für die Emission der akustischen Signale, während Anforderungen an den Schalldruckpegel am Immissionsort fehlen. Vielmehr wird von einer stets zuverlässigen Wahrnehmung durch die Straßenverkehrsteilnehmer ausgegangen.

Probleme mit der Wahrnehmbarkeit der akustischen Signale durch motorisierte Straßenverkehrsteilnehmer sind allerdings seit langer Zeit in der Fachwelt bekannt. Bereits 1939 wies Hanker in einer Abhandlung zur Sicherung unübersichtlicher BÜ darauf hin, dass „Pfeif- und Läutesignale für den

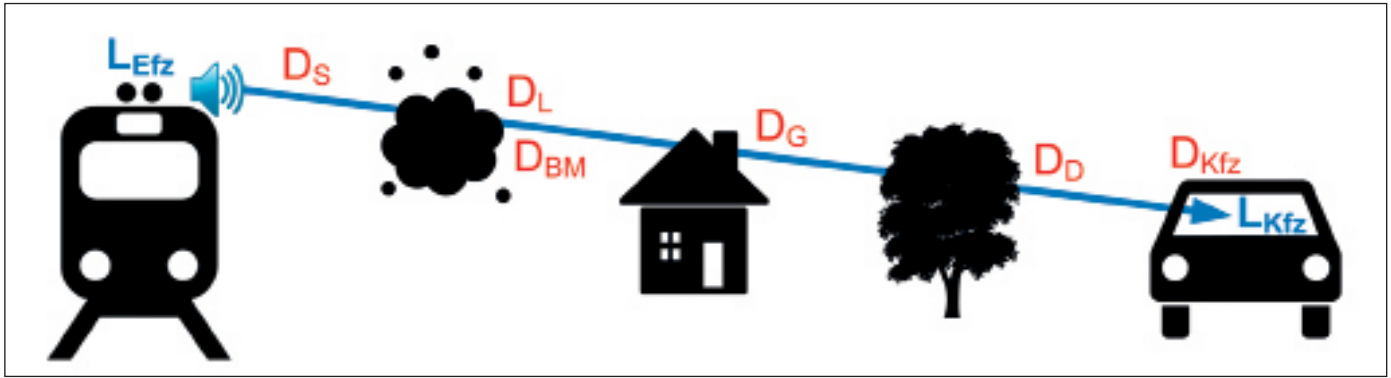


Abb. 2: Schalldämpfungen am BÜ

Kraftfahrer nur sehr bedingte Wirksamkeit besitzen und daher die sichtbaren Signale den Vorrang einzunehmen haben“ [5]. Klein und Raab stellten 1955 in einem weiteren Beitrag zur BÜ-Sicherheit fest: „Die akustischen Signale haben aber im wesentlichen nur Bedeutung für Fußgänger, Radfahrer und Fuhrwerkslenker; von den Fahrern der Kraftfahrzeuge können sie bei dem Motorengeräusch nicht immer wahrgenommen werden.“ [6]

Heilmann untersuchte 1984 die Wahrnehmbarkeit akustischer Signale in Kraftfahrzeugen ausführlicher mittels Schalldruckpegelmessungen. Im Ergebnis konnten die Signale nur bei Fahrzeugstillstand und gleichzeitig geöffnetem Fenster zuverlässig wahrgenommen werden. Während der Fahrt mit 30 bis 50 km/h war eine sichere Wahrnehmung hingegen nicht mehr gewährleistet. Zudem unterblieb die Abgabe der akustischen Signale durch die Triebfahrzeugführer bei rund 10% der beobachteten Zufahrten. Zusammenfassend konstatierte Heilmann: „Daher ist diese Art der Sicherung an Straßen mit Kraftfahrzeugverkehr bedenklich.“ [7]

Trotz der spätestens seit Heilmann vorliegenden Erkenntnisse blieben die entsprechenden Vorgaben der EBO, die eingangs vorgestellt wurden, seit 1967 bis heute unverändert. Erst in jüngerer Zeit gab es neue Diskussionen in Fachkreisen, unter anderem angeregt durch einen Beitrag von Speck aus dem Jahr 2011 [8]. Dabei wurde insbesondere die alleinige Sicherung durch akustische Signale als problematisch eingestuft, gleichzeitig aber auch auf die sehr geringen Unfallzahlen an den betreffenden BÜ hingewiesen. Daraus wurde die Forderung abgeleitet, diese Sicherungsart grundsätzlich nicht mehr zuzulassen, ein kurzfristiger Änderungsbedarf der EBO jedoch verneint.

Gegenwärtig liegt eine Sicherung allein durch akustische Signale für mindestens einen Quadranten bei den nichtbundeseigenen Eisenbahnen an etwa 2000 BÜ mit Kraftfahrzeugverkehr vor (geschätzt auf Basis einer Stichprobe aus [8]). Bei den Eisenbahnen des Bundes sind es rund 1700 BÜ (hochgerechnet auf Basis der zeitlichen Ent-

wicklung nach [9]). Somit weisen insgesamt schätzungsweise 3700 BÜ mit Kraftfahrzeugverkehr diese Sicherungsart auf, was einem Anteil von rund 12% aller deutschen BÜ entspricht (berechnet nach [10] unter Hinzurechnung der BÜ bei nichtöffentlichen Eisenbahnen). Genaue Angaben sind mangels hinreichend detaillierter Statistiken nicht möglich.

### Zielstellung und Abgrenzung

Ausgehend von der geschilderten Situation erschien es geboten, die Wahrnehmbarkeit akustischer Signale durch Straßenverkehrsteilnehmer wissenschaftlich zu untersuchen und darauf aufbauend die Sicherheit an den betreffenden BÜ zu beurteilen. Da die letzten Untersuchungen zu diesem Thema bereits zwei Jahrzehnte zurücklagen (s. o.), sollten insbesondere heutige fahrzeugtechnische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Besonderes Augenmerk war weiterhin auf die Einbeziehung verschiedener

Anwendungsfälle hinsichtlich Fahrzeug und Umgebung zu legen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse sollten Handlungsempfehlungen und alternative Lösungen erarbeitet werden.

Betrachtet wurde nur die objektive Wahrnehmbarkeit akustischer Signale im Innenraum von Kraftfahrzeugen. Diese stellt die Voraussetzung für die subjektive Wahrnehmung dar, die von individuellen physiologischen und psychologischen Bedingungen abhängt, beispielsweise Hörfähigkeit oder Erwartungshaltung. Solche Einflussfaktoren sind allerdings nur mit erheblichem Aufwand ermittelbar und bleiben deshalb weiteren Untersuchungen vorbehalten. Die subjektive Wahrnehmung kann jedoch kaum besser sein als die objektive Wahrnehmbarkeit, sodass trotz dieser Einschränkung grundsätzliche Aussagen über die Wirksamkeit der BÜ-Sicherung durch akustische Signale möglich sind. Aus diesem Grund blieben auch die nichtmotorisierten Stra-



**Grontmij – Ihr zuverlässiger Partner für Planung & Überwachung von Bahnsystemen & Verkehrsinfrastruktur**

**Bahnübergänge | Bahnnotlage | Regional- & Hochgeschwindigkeitsstrecken | Personen- & Güterverkehrsanlagen | Streckenreaktivierungen | Straßen- & Stadtbahnen | Leit- & Sicherungstechnik | 50-Hz-Anlagen | Tunnel & Brücken | Stütz- & Lärmschutzwände**



Info@grontmij.nl  
www.grontmij.nl



Abb. 3: Nachbildung eines Signalgebers



Abb. 4: Universalmessgerät Bappu Foto: ELK GmbH

ßenverkehrsteilnehmer unberücksichtigt: Für diese ist die objektive Wahrnehmbarkeit aufgrund der fehlenden Fahrzeughülle und Fahrgeräusche in den meisten Fällen anzunehmen, sodass es hauptsächlich auf die subjektive Wahrnehmung ankommt, die nicht Gegenstand der Untersuchung war. Außer Betracht blieben auch Anforderungen der Barrierefreiheit. Diese sind zwar an BÜ vor allem für nichtmotorisierte Straßenverkehrsteilnehmer relevant, können hinsichtlich der akustischen Wahrnehmung jedoch auch für Kraftfahrzeugführer eine Rolle spielen. So dürfen in Deutschland grundsätzlich auch gehörlose Personen eine Fahrerlaubnis für Kraftfahrzeuge erwerben [11]. Für diesen Personenkreis ist eine akustische Signalisierung vollständig unwirksam. Diese Aspekte entziehen sich jedoch einer quantitativen Bewertung und sind gesondert in einer grundsätzlichen Untersuchung zu betrachten. Weiterhin wurde die Erfüllung der o.g. normierten Anforderungen an die Signalgeber und Signaltöne der Eisenbahnfahrzeuge vorausgesetzt. Sollten die real vorliegenden Eigenschaften schlechter sein – beispielsweise ein geringerer Schalldruckpegel bei älteren Eisenbahnfahrzeugen im Bestand –, so verschlechtert sich auch die Wahrnehmbarkeit durch die Straßenverkehrsteilnehmer entsprechend.

### Akustisches Modell

Um verschiedene Anwendungsfälle berücksichtigen zu können, wurde auf Basis bekannter akustischer Grundlagen (vgl. [12, 13, 14]) ein Modell entwickelt. Diesem liegt die Tatsache zugrunde, dass zwischen dem Signalgeber am führenden Eisenbahnfahrzeug (Schalldruckpegel  $L_{E_{fz}}$ ) und dem Innenraum des Kraftfahrzeugs (Schalldruckpegel  $L_{Kfz}$ ) verschiedene Dämpfungen vorliegen können. Der Schalldruckpegel vermindert sich ausgehend von einer Punktschallquelle durch die Verteilung im Raum sowie durch Reflexion und Absorption bzw. Umwandlung in andere Energieformen. Folgende Einflüsse sind möglich (Abb. 2):

- Abstandsdämpfung ( $D_s$ ),
- Luftdämpfung ( $D_L$ ),
- Boden- und Meteorologiedämpfung ( $D_{BM}$ ),
- Bewuchsdämpfung ( $D_D$ ),
- Bebauungsdämpfung ( $D_C$ ),
- Kraftfahrzeugdämpfung ( $D_{Kfz}$ ).

Die Luftdämpfung ist bei den am BÜ vorliegenden Entfernungen vernachlässigbar gering. Für die praktische Untersuchung wur-

den die verbleibenden Dämpfungen (Boden-, Meteorologie-, Bewuchs- und Bebauungsdämpfung) zur örtlichen Zusatzdämpfung  $D_{PL}$  zusammengefasst. Damit liegt folgender formelmäßiger Zusammenhang vor:

$$L_{Kfz} = L_{E_{fz}} - D_s - D_{PL} - D_{Kfz}$$

Der im Kraftfahrzeug eintreffende Schalldruckpegel  $L_{Kfz}$  muss schließlich noch mit dem Störgeräuschpegel  $L_{SP}$  des Kraftfahrzeugs verglichen werden. Dieser ergibt sich insbesondere aus Motor- und Reifengeräuschen und ggf. dem eingeschalteten Radio. Daraus lässt sich die Pegeldifferenz  $\Delta L$  bestimmen:

$$\Delta L = L_{Kfz} - L_{SP}$$

Für die zuverlässige Wahrnehmbarkeit des akustischen Signals im Kraftfahrzeug ist eine hinreichend große Pegeldifferenz notwendig, d.h., der Schalldruckpegel  $L_{Kfz}$  muss den Störgeräuschpegel  $L_{SP}$  in einem bestimmten Maße übersteigen. Da keine BÜ-spezifischen Werte existieren, mussten Wahrnehmbarkeitsbedingungen aus anderen Bereichen herangezogen werden. Als allgemein anerkannt gilt, dass Aufmerksamkeit ab einer Pegeldifferenz von 3 dB(A) erregt wird [15]. Diese Pegeldifferenz wird beispielsweise auch bei akustischen Signalen zur Gleisbaustellensicherung gefordert [16]. Da die akustischen Signale der Eisenbahnfahrzeuge zudem sehr disharmonisch und kaum mit anderen Signalen verwechselbar sind, wurde die Pegeldifferenz von 3 dB(A) auch als Beurteilungskriterium im Rahmen der vorliegenden Untersuchung genutzt.

Für die Signalgeber an den führenden Eisenbahnfahrzeugen wurde ausgehend von den eingangs beschriebenen normativen Vorgaben ein mittlerer Schalldruckpegel von 122 dB(A) in einem Abstand von 5 m angenommen.

### Methodik

Durch Anwendung des beschriebenen Modells auf unterschiedliche Kraftfahrzeuge und Umgebungsverhältnisse lässt sich die objektive Wahrnehmbarkeit der akustischen Signale feststellen. Dabei wurden folgende Vorgehensweisen gewählt:

- Berechnung der Abstandsdämpfung,
- Messung der örtlichen Zusatzdämpfung,
- Messung der Kraftfahrzeugdämpfung,
- Messung des Störgeräuschpegels,
- Berechnung der Pegeldifferenz.

Fahrzeugart	Stillstand im Leerlauf	Fahrt mit 20 km/h auf Beton	Fahrt mit 20 km/h auf Waldweg oder Pflaster
Pkw	50...54	55...56	64...66
Nutzfahrzeuge	58...68	67...78	

Tab. 1: Störgeräuschpegel  $L_{SP}$  in dB(A) unter verschiedenen Bedingungen

Da die einzelnen Komponenten des Modells voneinander unabhängig sind, ließen sie sich einzeln ermitteln. Zur Bestimmung der örtlichen Zusatzdämpfung und der Kraftfahrzeugdämpfung wurde die Nachbildung eines Signalgebers verwendet. Dieser bestand aus einer handbedienten Zweiklang-Fanfare mit Speisung durch einen batteriebetriebenen Luftkompressor (Abb. 3). Mit Frequenzen von 410 und 510 Hz war die Nachbildung mit einem realen Signalgeber vergleichbar, was insbesondere für die frequenzabhängige Kraftfahrzeugdämpfung eine Rolle spielte. Dass der mittlere Schalldruckpegel mit 107 dB(A) niedriger lag als bei realen Signalgebern, war hingegen nicht relevant, da sich die Dämpfungen aus den jeweiligen Differenzen zwischen emittiertem und immittiertem Schalldruckpegel ergaben.

Für die Schalldruckpegelmessungen kam das Multifunktionsgerät „Bappu“ der Firma ELK GmbH zum Einsatz (Abb. 4). Es ermöglicht Messungen mit einer Toleranz von ± 1 dB.

Für die fahrzeugspezifischen Messungen wurden folgende Kraftfahrzeuge eingesetzt (in Klammern jeweils die Jahresangabe der Erstzulassung):

- Pkw:
  - Volkswagen Polo (1999),
  - Ford Fiesta (2010),
  - Renault Trafic (2011),
  - Renault Megan Grandtour (2012).
- Nutzfahrzeuge:
  - Mercedes Benz 7,5 t (1988),
  - Unimog U 427-12 (1990) und
  - Fortschritt ZT 323 (1986).

Die örtlichen Zusatzdämpfungen wurden in vier typischen Situationen an insgesamt sieben BÜ in der Umgebung von Dresden für Abstände von jeweils 50 bis 200 m untersucht:

- freie Fläche,
- Waldgebiet,
- lockere Bebauung und
- dichte Bebauung.

Umgebung	Pkw			Nutzfahrzeuge	
	Stillstand im Leerlauf	Fahrt mit 20 km/h auf Beton	Fahrt mit 20 km/h auf Waldweg oder Pflaster	Stillstand im Leerlauf	Fahrt mit 20 km/h
Fenster geöffnet					
alle Umgebungen, 50 m	+28...+32	+26...+27	+16...+18	+14...+24	+4...+15
freie Fläche, 100 m	+20...+24	+18...+19	+8...+10	+6...+16	-4...+7
dichte Bebauung, 100 m	+18...+22	+16...+17	+6...+8	+4...+14	-6...+5
lockere Bebauung, 100 m	+16...+20	+14...+15	+4...+6	+2...+12	-8...+3
freie Fläche, 200 m	+12...+16	+10...+11	0...+2	-2...+8	-12...-1
dichte Bebauung, 200 m	+8...+12	+6...+7	-4...-2	-6...+4	-16...-5
lockere Bebauung, 200 m	+4...+8	+2...+3	-8...-6	-10...0	-20...-9
Wald, 100 m	+4...+8	+2...+3	-8...-6	-10...0	-20...-9
Wald, 200 m	-2...+2	-4...-3	-14...-12	-16...-6	-26...-15
Fenster geschlossen					
alle Umgebungen, 50 m	+20...+24	+18...+19	+8...+10	+6...+16	-4...+7
freie Fläche, 100 m	+12...+16	+10...+11	0...+2	-2...+8	-12...-1
dichte Bebauung, 100 m	+10...+14	+8...+9	-2...0	-4...+6	-14...-3
lockere Bebauung, 100 m	+8...+12	+6...+7	-4...-2	-6...+4	-16...-5
freie Fläche, 200 m	+4...+8	+2...+3	-8...-6	-10...0	-20...-9
dichte Bebauung, 200 m	0...+4	-2...-1	-12...-10	-14...-4	-24...-13
lockere Bebauung, 200 m	-4...0	-6...-5	-16...-14	-18...-8	-28...-17
Wald, 100 m	-4...0	-6...-5	-16...-14	-18...-8	-28...-17
Wald, 200 m	-10...-6	-12...-11	-22...-20	-24...-14	-34...-23

Tab. 2: Pegeldifferenzen ΔL in dB(A) im Innenraum der Kraftfahrzeuge

Für die Kraftfahrzeugdämpfungen fanden Messungen mit geschlossenen und geöffneten Seitenfenstern statt. Die Störgeräuschpegel der Kraftfahrzeuge wurden im Leerlauf bei ca. 1000 U/min sowie bei einer Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen ermittelt.

### Ergebnisse

Die Abstands-dämpfung (auch geometrische Dämpfung genannt) bewirkt eine Verringerung

des Schalldruckpegels durch die Verteilung des Schalls auf immer größere Flächen. Dabei erhöht sich die Dämpfung mit jeder Verdopplung des Abstandes um 6 dB(A). Ausgehend von der Vorgabe des emittierten Schallpegels in einem Abstand von 5 m gilt folgender Zusammenhang:

$$D_s = 20 \cdot \log(d/5),$$

dabei ist d (in m) der Abstand vom Signalgeber.

DGS-zertifiziert nach ISO 9001 : 2008

## Technologie

Bereitstellung der Baugemeinschaften und Arbeitsvorbereitung mbH

### Verkehrsplanung

Eisenbahnbau  
Straßenbau  
Brückenbau

### Bauüberwachung

Bauberleitung  
Bauüberwachung mit Zulassung DB AG  
StGeko

### Projektmanagement

Projektierung  
Projektsteuerung

### Umwelt

Erkundungen  
Analytik  
Gutachten

Hausanschrift:  
Im Finigen 6 · 28832 Achim  
Tel.: 04202/9777-0  
Fax: 04202/9777-20

E-Mail:  
planung@technologiegmbh.de  
umwelt@technologiegmbh.de

www.technologiegmbh.de

WWW.LAUPLAN.DE

## LAUPLAN

PLANUNG VON EISENBAHNSICHERUNGSSYSTEMEN  
ZUGH., KABELTIEFBAU UND STROMVERSÖRGUNGSANLAGEN

WIR BEARBEITEN PLANUNGEN IN DEN LEISTUNGSPHASEN  
Grundlagenermittlung, Vorplanung, Entwurfsplanung,  
Genehmigungsplanung, Ausführungsplanung,  
Vorbereitung der Vergabe, Mitwirkung bei der Vergabe,  
Objektbetreuung und Dokumentation

TEL. 03571.42 10-0 | FAX 42 10-29 | INFO@LAUPLAN.DE

LauPlanung GmbH • A.-Einstein-Str. 47 • 02977 Hoyerswerda

Zu den untersuchten Abständen ergeben sich somit folgende Dämpfungsmaße:

- $D_S = 20 \text{ dB(A)}$  für  $d = 50 \text{ m}$ ,
- $D_S = 26 \text{ dB(A)}$  für  $d = 100 \text{ m}$ ,
- $D_S = 32 \text{ dB(A)}$  für  $d = 200 \text{ m}$ .

Hinsichtlich der örtlichen Zusatzdämpfungen  $D_{Pl}$  konnte festgestellt werden, dass diese bei Abständen bis 50 m in der Regel vernachlässigbar sind. In Waldgebieten wurde bei den betrachteten Abständen über 50 m eine annähernd konstante Dämpfung von rund 18 dB(A) ermittelt. Für die übrigen Fälle gelten folgende Abhängigkeiten:

- freie Fläche: ca. 0,02 dB(A)/m,
- dichte Bebauung: ca. 0,04 dB(A)/m,
- lockere Bebauung: ca. 0,06 dB(A)/m.

Die stärkere Dämpfung bei lockerer Bebauung gegenüber dichter Bebauung resultiert aus der stärkeren Reflexion, Brechung und Auslöschung der Schallwellen innerhalb der inhomogenen Umgebungsstruktur im erstgenannten Fall. Bei massiven Hindernissen zwischen Emissions- und Immissionsort (Schallausbreitung „um die Ecke“) liegen allerdings noch größere Dämpfungen vor, die sich aufgrund ihrer Komplexität einer pauschalen Bewertung entziehen. Solche Situationen müssen stets im Einzelfall betrachtet werden.

Alle untersuchten Fahrzeuge weisen ähnliche Kraftfahrzeugdämpfungen auf. Diese betragen durchschnittlich:

- $D_{Kfz} = 28 \text{ dB(A)}$  bei geschlossenen Fenstern und frontaler oder seitlicher Beschallung,
- $D_{Kfz} = 20 \text{ dB(A)}$  bei geöffnetem Fahrerfenster und Beschallung auf der Beifahrerseite.

Schließlich waren noch die Störgeräuschpegel  $L_{SP}$  unter verschiedenen Bedingungen zu ermitteln. Erwartungsgemäß sind die Werte für Pkw höher als für Nutzfahrzeuge, ebenso während der Fahrt höher als bei Stillstand im Leerlauf (Tab. 1).

Tab. 2 zeigt die im Kraftfahrzeug auftretenden Pegeldifferenzen für verschiedene Kombinationen aus Kraftfahrzeugart, Bewegungszustand, Fahrbahnoberfläche, Fensterstatus, Umfeldsituation und Abstand zum Abgabeort des akustischen Signals. Dabei ist in den grün markierten Feldern die zuverlässige Wahrnehmbarkeit gewährleistet, in den rot markierten Feldern nicht. Bei gelb markierten Feldern trifft die Wahrnehmbarkeit nur für einen Teil der Fahrzeuge der jeweiligen Gruppe zu. Die dargestellten Ergebnisse beruhen auf Berechnungen mit Hilfe des beschriebenen Modells. Ihre Richtigkeit wurde durch Vergleichsmessungen an realen BÜ bestätigt.

Läuft im Kraftfahrzeug das Radio, kann dies die Wahrnehmbarkeit zusätzlich beeinträchtigen. Bei einer vom Fahrer subjektiv als angemessen eingeschätzten Radio-lautstärke wurde ein um 3 dB(A) erhöhter

Störgeräuschpegel festgestellt, sodass sich die Pegeldifferenzen entsprechend weiter verringern. Bei Einstellung einer subjektiv als hoch bewerteten Lautstärke konnten 78 dB(A) gemessen werden, wodurch sich in allen Fällen eine negative Pegeldifferenz ergab, mithin das akustische Signal nicht mehr wahrnehmbar war.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die bisher unterstellte, stets zuverlässige Wahrnehmbarkeit der vor BÜ abgegebenen akustischen Signale nicht zutrifft. Aufgrund der Eindeutigkeit wird auf eine detaillierte Interpretation aller Einzeldaten verzichtet, zumal bereits die Unwirksamkeit für einen Teil der praxisrelevanten Situationen die Sicherungsart insgesamt infrage stellt. Ausgewählte Ergebnisse sollen jedoch näher beleuchtet werden.

In den betrachteten Kraftfahrzeugen sind akustische Signale selbst bei Annahme einer dem BÜ angemessenen Sorgfalt des Straßenverkehrsteilnehmers (Fahrt mit 20 km/h, Radio ausgeschaltet, Seitenfenster jedoch geschlossen) nur bis zu einer Entfernung von 50 m zuverlässig wahrnehmbar. Für lautere Nutzfahrzeuge gilt dies nur bei geöffnetem Fenster. Unter Zuhilfenahme der Tabellen aus den geltenden anerkannten Regeln der Technik [17] lässt sich hieraus eine zulässige Eisenbahngeschwindigkeit von höchstens 15 km/h ableiten (Pfeiftafelstandorte für Sperrstrecken 6 bis 10 m und Straßengeschwindigkeiten von 10 bis 20 km/h).

Bei größeren Entfernungen ist die Wahrnehmbarkeit nicht mehr für alle Fahrzeugarten gegeben, selbst wenn man eine noch größere Vorsicht der Straßenverkehrsteilnehmer unterstellt. So können beispielsweise Fahrer von Nutzfahrzeugen an BÜ in Waldgebieten die akustischen Signale bereits bei einer Entfernung von 100 m auch im Leerlauf bei Fahrzeugstillstand und geöffnetem Fenster nicht mehr zuverlässig wahrnehmen. Gerade auf Waldwegen ist jedoch mit Nutzfahrzeugen zu rechnen, sodass hier eine besonders problematische Konstellation vorliegt.

Bereits aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die gegenwärtigen Obergrenzen der EBO zur alleinigen Sicherung durch akustische Signale bei Straßen und Wegen mit Kraftfahrzeugverkehr zu hoch angesetzt sind. Für eine Geschwindigkeit der Eisenbahnfahrzeuge von 20 km/h (Pfeiftafelabstände ca. 70 bis 100 m nach [17]) ist eine zuverlässige Wahrnehmbarkeit nur für bestimmte Fahrzeug-Umgebungs-Konstellationen gewährleistet. Bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h (Pfeiftafelabstände ca. 190 bis 280 m) ist die Wahrnehmung nur noch in Einzelfällen zufallsbedingt möglich.

Erschwerend kommt hinzu, dass selbst in sehr günstigen Fällen – bei Anhalten des Kraftfahrzeugs vor dem BÜ, Öffnen der Seitenfenster usw. – eine Wahrnehmung der akustischen Signale scheitern kann. Solch eine Situation liegt vor, wenn der Triebfahrzeugführer das Pfeifsignal bereits vor dem Anhalten des Straßenfahrzeugs abgegeben hatte. Im Gegensatz zur Sicherung durch Übersicht ist die Wahrnehmbarkeit des Eisenbahnfahrzeugs nicht über die gesamte Annäherungsstrecke, sondern nur an definierten Punkten – den Pfeiftafelstandorten – gewährleistet. Hierin liegt ein weiterer Mangel dieser Sicherungsart. Trotz der fehlenden Auffälligkeit im Unfallgeschehen besteht ein klarer Handlungsbedarf. Angesichts der objektiv fehlenden Wahrnehmbarkeit der akustischen Signale der Eisenbahnfahrzeuge in den praktisch relevanten Fällen liegt eine unwirksame BÜ-Sicherung vor. Die geringen Unfallzahlen können nur durch die äußerst geringen Verkehrsstärken auf den betreffenden Wegen und die damit einhergehenden geringen Begegnungswahrscheinlichkeiten begründet sein. Im Begegnungsfall besteht jedoch selbst bei großer Sorgfalt der Straßenverkehrsteilnehmer die Gefahr eines Zusammenpralls. Nach einem Unfall kann sich daraus für den jeweiligen Bahnbetreiber eine erhöhte Betriebsgefahr mit entsprechenden Folgen für die Haftung ergeben.

## Empfehlungen

Grundsätzlich bestehen folgende Lösungsmöglichkeiten:

- Vollständiges Verbot der alleinigen Sicherung durch Pfeifsignale: Problematisch sind hierbei die fehlenden Alternativen für zahlreiche bestehende BÜ. Eine Schaffung der Sichtflächen würde eine Planfeststellung und ggf. Grundstückserwerb voraussetzen, eine technische Sicherung ebenfalls hohe Kosten verursachen. Zudem würden auch Bahnen mit einfachen Betriebsverhältnissen und geringen Geschwindigkeiten (z.B. Anschlussbahnen mit ausschließlichem Rangierbetrieb) unverhältnismäßig belastet.
- Stärkere Geschwindigkeitseinschränkung auf der Eisenbahnstrecke: Dadurch könnte die zuverlässige Wahrnehmbarkeit der akustischen Signale in den meisten Fällen gewährleistet werden, ggf. wird dann jedoch auch die Übersicht erlangt. Die Fahrzeitverlängerungen würden jedoch einen erheblichen Attraktivitätsverlust im Reisezugverkehr bewirken.
- Zwangshalt für Kraftfahrzeuge vor BÜ: Stoppschilder könnten in ausgewählten Einzelfällen eine Lösung darstellen, wenn durch das Anhalten unmittelbar vor dem BÜ die Übersicht erreicht würde

(zur Diskussion siehe [18]). Allein der Zwangshalt ohne Erreichen der Übersicht würde hingegen nur geringe Verbesserungen bewirken, da Nutzfahrzeuge selbst bei Stillstand im Leerlauf zu laut für die zuverlässige Wahrnehmung der akustischen Signale aus größerer Entfernung sein können.

Da nunmehr bereits zwei Untersuchungen die klare Unwirksamkeit der Sicherungsart unter den geltenden Bedingungen gezeigt haben, besteht der Handlungsbedarf trotz der zu erwartenden Umsetzungsschwierigkeiten. Zielführend ist dabei die grundsätzliche Beschränkung der Sicherungsart auf die oben hergeleitete Geschwindigkeit der Eisenbahnfahrzeuge von 15 km/h in der EBO. Für bestehende BÜ mit höheren Geschwindigkeiten bei dieser Sicherungsart sollten angemessene Übergangsfristen die Auswahl und Umsetzung örtlich geeigneter Lösungen erleichtern. Um das Risiko weiter zu minimieren, empfiehlt sich begleitend eine Aufklärung der Straßenverkehrsteilnehmer über das erforderliche Verhalten an nichttechnisch gesicherten BÜ.

Bei strenger Betrachtung sind auch die Folgen für BÜ mit der Sicherungsart „Übersicht auf die Bahnstrecke in Verbindung mit hörbaren Signalen der Eisenbahnfahrzeuge“ zu beachten. Können die akustischen Signale durch motorisierte Straßenverkehrsteilnehmer objektiv nicht wahrgenommen werden, liegt an den betreffenden BÜ praktisch nur noch eine Sicherung durch die Übersicht vor, die nach EBO jedoch nur bei schwachem Verkehr zulässig wäre. Geeignete Alternativen bzw. Kompensationsmaßnahmen sind auch hier zu diskutieren.

Abschließend ist noch anzumerken, dass aus den Ergebnissen keinesfalls die Schlussfolgerung gezogen werden sollte, die Abgabe akustischer Signale der Eisenbahnfahrzeuge sei der Sicherheit an BÜ grundsätzlich abträglich. Ganz im Gegenteil können diese Signale insbesondere die Aufmerksamkeit nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer erhöhen. Im Straßenverkehr muss auch mit blinden oder sehbehinderten Fußgängern gerechnet werden, die auf eine akustische Warnung geradezu angewiesen sind. Akustische Signale eignen sich demzufolge zwar nicht als alleinige, jedoch durchaus als zusätzliche Sicherungsmaßnahme.

**LITERATUR**

[1] EBO vom 8. Mai 1967 (BGBl. 1967 II S. 1563), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. Juli 2012 (BGBl. I S. 1703) geändert worden ist  
 [2] StVO vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367)  
 [3] UIC (Herausgeber): Akustische Signaleinrichtungen der im internationalen Verkehr eingesetzten Triebfahrzeuge – UIC-Kodex 644; Paris, 1980  
 [4] EN 15153-2 Bahnanwendungen – optische und akustische Warneinrichtungen für Schienenfahrzeuge, Teil 2: Signalhörner, Stand Mai 2010  
 [5] Hancker: Sicherung unübersichtlicher Kreuzungen von Eisenbahn und Straße, Gleistechnik und Fahrbahnbau 7 – 8/1939  
 [6] Klein, R.; Raab, F.: Grundsätzliches zur Sicherheit der Wegübergänge in Schienenhöhe; in: Sicherheit am Bahnübergang, Sonderheft der ETR – Eisenbahntechnischen Rundschau, Darmstadt, 1955  
 [7] Heilmann, W.: Grundlagen und Verfahren zur Abschätzung der Sicherheit an Bahnübergängen, Dissertation, TH Darmstadt, 1984  
 [8] Speck, G.: Sicherung von Bahnübergängen durch hörbare Signale, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 62 (2011) Heft 11  
 [9] DB Netz AG (Herausgeber): Bahnübergänge im Spiegel der Statistik 2009, Frankfurt/Main, 2010  
 [10] Statistisches Bundesamt (Herausgeber): Betriebsdaten des Schienenverkehrs 2010; Wiesbaden, 2011  
 [11] Fahrerlaubnis-Verordnung vom 13. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1980), die durch Artikel 2 Absatz 14 des Gesetzes vom 3. Mai 2013 (BGBl. I S. 1084) geändert worden ist  
 [12] Klingenberg, H.: Automobil-Meßtechnik – Band A: Akustik, Berlin, 1988  
 [13] Gahlau, H.: Fahrzeugakustik: Entwicklung und Einsatz von Systemen zur Lärmreduzierung, Landsberg/Lech, 1998  
 [14] Henn, H.; Sinambari, R. G.; Fallen, M.: Ingenieurakustik – Grundlagen, Anwendungen, Verfahren; Wiesbaden, 1999  
 [15] Fachtagung Arbeitsschutz 2011: Lärm – Messung und Präventionsmaßnahmen. URL: [http://www.tuev nord.de/cps/rde/xbcr/tng\\_de/8\\_.\\_Seeburg.pdf](http://www.tuev nord.de/cps/rde/xbcr/tng_de/8_._Seeburg.pdf), abgerufen am 10.12.2012  
 [16] Sauer, U. et al.: Ausrüstung gleisgebundener Baumaschinen mit automatischen Warnsystemen, BahnPraxis 8/2007  
 [17] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (Herausgeber): Bahnübergangsvorschrift für nichtbundes-eigene Eisenbahnen, Köln, 2001  
 [18] Schöne, E.; Buder, J.: Einsatz von Stoppschildern an nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 62 (2011) Heft 3



Dr.-Ing. Eric J. Schöne

Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
 Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, TU Dresden  
 eric.schoene@tu-dresden.de



Dipl.-Ing. Robert Bagola

Planungsingenieur  
 LauPlan LausitzPlanung GmbH Eisenbahnsicherungssysteme,  
 Hoyerswerda  
 bagola@lauplan.de

**Summary**

**Perceptibility of acoustic signals of railway rolling stock at level crossings**

The article deals with the perceptibility of acoustic signals emitted by railway rolling stock at level crossings. A model has been developed based on the emitted sound pressure level taking into account the effects of damping into the interior of the motor car. Main factors to consider are the distance, the surrounding area conditions as well as the vehicle body-work. By comparing the sound pressure level arriving at the ear of the car driver with the background noise level under different conditions the perceptibility could be assessed. As a result, the acoustic signals are objectively not perceptible by the drivers in many practically relevant cases. For this reason it is recommended to use acoustic signals at level crossings only as a complement but not as the only safety measure.

**Der Spezialist für den Verkehrswegebau**

- Gleiseindeckungssystem **BODAN** aus Polymerbeton
- Gleiseindeckungssystem Gleisrampenplatten
- Bleis- und Rettungswege aus Beton / GFK / Stahl
- GFK-Konstruktionen
- Kabelschacht- und Kanalsysteme aus Beton bzw. Kunststoff (erdverlegt und aufgeständert)
- Betonfertigteile Bahnbau - Tiefbau
- Blindenleitsystem **ÖBS®** und **BO-TAKT**
- Betonschalen-Systeme
- Auffangwannensysteme

**ÖBS GmbH**  
 Beimoorkamp 6  
 22926 Ahrensburg (bei Hamburg)  
 Tel. +49 4102 8058-0  
 Fax +49 4102 8058-28  
 www.oeps-gmbh.de