

Schallemissionen von Schienennahverkehrsbahnen

U. Möhler, G. Prestele, H.-J. Giesler, W. Hendlmeier

1 Aufgabenstellung und Untersuchungsplan

Die Berechnung von Schallimmissionen von Schienenwegen erfolgt nach der 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (16. BImSchV) [1] bzw. nach der „Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen, Schall 03“ [2].

Seit einigen Jahren sind im Bereich des Schienennahverkehrs neue Fahrzeugtypen und Gleisbauformen im Einsatz. Aus diesem Grund erscheint es angebracht, diesen neuen Entwicklungen in Hinblick auf die Schallemission Rechnung zu tragen und die bisher in den Rechenvorschriften festgelegten Parameter durch Schallmessungen zu überprüfen und ggf. zu ergänzen.

Der Untersuchungsplan sah vor, daß in verschiedenen Städten mit Straßenbahn- und U-Bahnbetrieb Schallmessungen durchgeführt werden und daß bereits durchgeführte Schallmessungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (BayLfU) [vgl. 10; 11] einbezogen werden.

Die Wahl der Meßquerschnitte sollte eine Überprüfung bzw. Ergänzung der Ausgangsparameter der Schall 03 ermöglichen. Die untersuchten Einflußgrößen sind in **Tabelle 1** aufgelistet.

Die Messungen ermöglichen sowohl Auswertungen von Einzelvorbeifahrtpegeln als auch die Durchführung von Frequenzanalysen.

2 Durchführung der Untersuchung

2.1 Untersuchungsgebiete

Die Festlegung der Meßquerschnitte erfolgte im Einvernehmen mit den Verkehrsbetrieben. In den in **Tabelle 2** genannten Städten wurden verschiedene Gleisbauarten in der Geraden und in Kurvenbereichen für Messungen ausgewählt. Die per Augenschein durchgeführten örtlichen Erhebungen führten zu den in der Tabelle genannten Meßquerschnitten.

2.2 Schallmessungen und Auswertungen

Die Schallmessungen wurden im Zeitraum Mai 1996 bis August 1997 durchgeführt. Die Messungen des BayLfU fanden in der Zeit von 1984 bis 1993 statt.

Den Messungen zugrunde gelegt wurde der Normentwurf E DIN 45642 [3]. Die nach dieser Norm vorgeschriebenen Meßabstände (25 m zur Gleisachse in 3,5 m über Schienenoberkante) konnten aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und des z. T. hohen Fremdgeräuschpegels oft nicht realisiert werden. In diesen Fällen wurde ein anderer Meßabstand (in der Regel 7,5 m/1,2 m) gewählt und die Schallemission gemäß Schall 03 auf den Normabstand umgerechnet. Je Meß-

Zusammenfassung Die Berechnungsansätze der „Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen – Schall 03“, Ausgabe 1990 wurden für die Schallemissionen von Schienennahverkehrsbahnen durch umfangreiche Messungen überprüft. Im Vergleich zur bestehenden Berechnungsvorschrift Schall 03 führen die Ergebnisse zu differenzierteren Aussagen bzgl. der Schallemissionen.

Schlüsselwörter Schallemissionen – Schienennahverkehr – Straßenbahnen – Kurvenquietschen

Sound emissions from local railway lines

Summary The principles for calculation in the „Guideline for Calculating Noise Immissions from Railway Lines – Noise 03“, 1990 edition, were examined in terms of sound emissions from local railway lines by means of extensive measurements. In comparison with the existing calculation guideline Noise 03, the results indicate the need for differentiated statements as regards noise emissions.

Keywords sound emissions – local railway lines – tramway – curve squeal

querschnitt wurden mindestens 25 verwertbare Vorbeifahrten registriert. Für jede Vorbeifahrt wurde die Fahrgeschwindigkeit per Radarpistole bestimmt.

In **Bild 1** sind exemplarische Pegel-Zeit-Verläufe am Meßquerschnitt München Tivolistraße (Kurvenbereich) dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß während der Vorbeifahrt einer Straßenbahn mit deutlichem Kurvenquietschen die maximalen Schallpegel der Kurvengeräusche um bis zu 20 dB(A) über den Schallpegeln ohne Kurvenquietschen liegen können.

Digitale Magnetband-Aufzeichnungen der Zugvorbeifahrten wurden im Labor ausgewertet. Aus dem Mittelungspegel und der Meßdauer wurde je Vorbeifahrt der Einzelereignispegel gebildet und dieser Wert nach Schall 03 auf den Normabstand, die Geschwindigkeit von 100 km/h, auf die Zuglänge von 100 m und 100 % schiebengebremsster Wagen nor-

Tabelle 1 | Untersuchungsplan Schallmessungen.

Einflußgrößen	Auswahlkriterien Meßquerschnitte
Einfluß der Kurven	– Vergleich Kurve – Gerade (MQ-Paar)
Einfluß der Fahrbahnart	– Schotterbett, Betonschwelle – Schotterbett, Holzschwelle – Feste Fahrbahn (straßenbündiger Bahnkörper) – Rasenbahnkörper, hochliegender Rasen – Rasenbahnkörper, tiefliegender Rasen
Einfluß der Fahrzeugart	– Niederflurfahrzeuge – Nicht-Niederflurfahrzeuge – Stadtbahnfahrzeuge – U-Bahnen (Messung außerhalb eines Tunnels)
Einfluß des Fahrflächenzustandes von Schienen und Räder	– vor / nach Schienenschleifen – durchschnittliches / gepflegtes Rad-Schiene-System

Eingang des überarbeiteten Manuskripts: 3. Juli 1998

Dipl.-Ing. U. Möhler, Dipl.-Ing. (FH) G. Prestele, Möhler + Partner, München.

Dipl.-Ing. (FH) H.-J. Giesler, Umweltbundesamt Berlin.

BD Dipl.-Ing. W. Hendlmeier, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München.

Tabelle 2 Übersicht Meßquerschnitte.

Stadt	Anzahl Meßquerschnitte	Oberbauform	Zustand Rad – Schiene
Augsburg Meterspur	5 Kurve / 7 Gerade	Feste Fahrbahn, Rasengleis, Schotteroberbau	durchschnittlich
München Normalspur	5 Kurve / 9 Gerade	Feste Fahrbahn, Rasengleis, Schotteroberbau	gut
Nürnberg Normalspur	3 Kurve / 5 Gerade	Feste Fahrbahn, Rasengleis, Schotteroberbau	gut bzw. durchschnittlich
Würzburg Meterspur	8 Gerade	Feste Fahrbahn, Rasengleis, Schotteroberbau	gut bzw. durchschnittlich
Plauen Meterspur	3 Kurve / 3 Gerade	Feste Fahrbahn, Schotteroberbau	gut bzw. verriffelt
Bad Schandau Meterspur	1 Kurve / 1 Gerade	Feste Fahrbahn	durchschnittlich
Dresden Normalspur	1 Kurve / 1 Gerade	Feste Fahrbahn	gut
Tuttart normal-Meterspur	1 Kurve / 4 Gerade	Rasengleis, Schotteroberbau	gut
Karlsruhe Normalspur	4 Gerade	Feste Fahrbahn, Rasengleis, Schotteroberbau	gut

miert (normierter Emissionspegel, vgl. [13]). Durch energetische Mittelung gemäß [3] wurde die Geräuschemission gleicher Zugarten je Meßquerschnitt zusammengefaßt. Weiterhin wurden die untersuchten Vorbeifahrten in zusammengehörige Grundgesamtheiten (z. B. Oberbauform, Zugtyp, befahrenes Gleis etc.) getrennt und je Grundgesamtheit der gemittelte normierte Emissionspegel gebildet.

Für die Vergleichbarkeit verschiedener Züge und Örtlichkeiten verwendet die Schall 03 einen sogenannten „Grundwert“. Um den Meßwert mit dem Grundwert vergleichen zu können, wird aus dem gemittelten normierten Emissionspegel der Einfluß der Fahrzeuge (U-Bahn +2 dB(A) und Stra-

ßenbahn +3 dB(A)) und der Fahrbahn (Beton-schwellengleis +2 dB(A) und Feste Fahrbahn +5 dB(A)) herausgerechnet.

3 Ergebnisse der Schallmessungen und Erhebungen

Die Ergebnisse der Schallmessungen und Erhebungen werden für Vergleiche zwischen einzelnen Parametern thematisch zusammengefaßt und kommentiert. Im einzelnen handelt es sich um Gegenüberstellungen von Schallemissionen von Vorbeifahrten

- auf Gleisen in Kurven und Geraden,
- auf verschiedenen Oberbauformen,
- auf unterschiedlichen Gleiszuständen,
- mit verschiedenen Fahrzeugtypen.

Für die Auswertungen notwendige weitere Informationen über Oberbauformen, Fahrzeugtypen etc. wurden bei den jeweiligen Verkehrsbetrieben erhoben.

3.1 Vergleich der Schallemissionen Kurve/Gerade

Das Kurvenquietschen ist bei Straßenbahnen die Schallemission, die am häufigsten zu Beschwerden führt. Zu den Ursachen des Kurvenquietschens sei auf die umfangreiche Literatur [u.a. 4; 7; 8] verwiesen.

Eine Ursache für die Erhöhung der Schallemissionen im Kurvenbereich im Vergleich zur Geraden ist, daß herkömmliche Straßenbahnfahrzeuge meistens kein Differentialgetriebe besitzen. Dies führt beim Befahren von Kurven in Verbindung mit den stick-slip-Bewegungen zu einer raschen Verriffelung vor allem der Innenschiene mit entsprechender Schallpegelerhöhung auch bei nicht quietschenden Vorbeifahrten. Es konnte beobachtet werden, daß neue Schienen und Radsätze sowie kalte, trockene Witterung das Kurvenquietschen begünstigen.

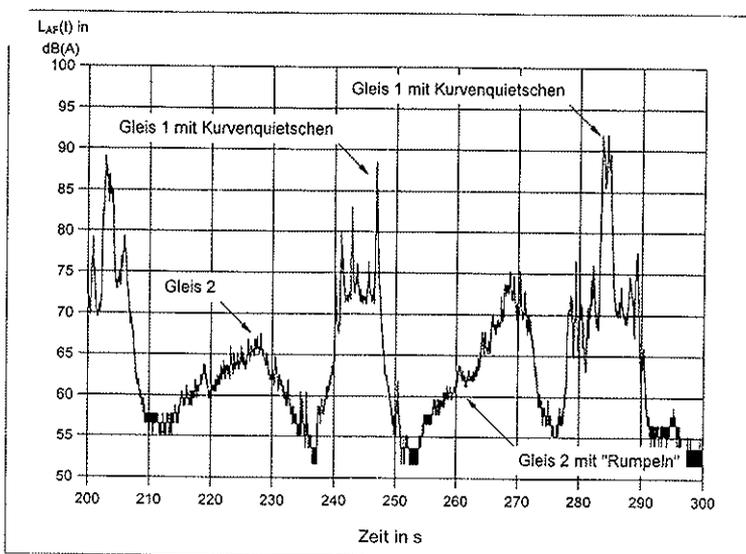


Bild 1 Exemplarischer Zeitverlauf des FAST- und A-bewerteten Schalldruckpegels $L_{Af}(t)$ am Meßquerschnitt München Tivolistraße.

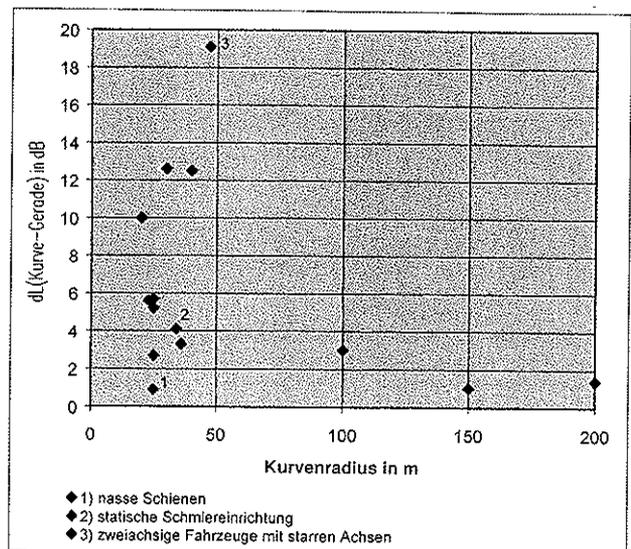


Bild 2 Abhängigkeit der Pegeldifferenz zwischen Kurve und Gerade vom Kurvenradius.

Tabelle 3 | Meßergebnisse Kurve - Gerade.

Kurzbez.	Oberbauform	Kurve/ Gerade	Radius	Anzahl N	L_G	dL_G^*	$dL(K-G)^{**}$
			in m		ohne D_{Ra} in dB(A)	in dB(A)	
A1	Feste Fahrbahn (FB)	K MP1	≅ 25	28	59,9	+ 8,9	5,2
A2	FB	K MP2	≅ 25	28	57,4	+ 6,4	2,7
A3	FB	G	-	29	54,7	+ 3,7	-
A4	FB	K	≅ 25	29	59,6	+ 8,6	5,7
A5	FB	G	-	32	53,9	+ 2,9	-
A7	FB	K	≅ 25	21	59,5	+ 8,5	5,7
A8	FB	G	-	25	53,8	+ 2,8	-
A11	FB	K	≅ 25	47	54,4	+ 3,4	0,9
A12	FB	G	-	36	53,5	+ 2,5	-
M5	FB	K	20/22	38	60,3	+ 9,3	10,0
M4	FB	G	-	30	50,3	- 0,7	-
M11	Schotterb.	K (Ab)	≅ 100	47	48,2	- 2,8	3,0
M10	Schotterb.	G	-	42	45,2	- 5,8	-
N2	Schotterb.	K-eng	30	11	62,9	11,9	12,6
N3	Schotterb.	G	-	25	50,3	- 0,7	-
N4	Schotterb.	K-weit	34	24	53,3	+ 2,3	4,1
N5	Schotterb.	G	-	24	49,2	- 1,8	-
N6	FB	K	23	21	54,0	+ 3,0	5,6
N7	FB	G	-	25	48,4	- 2,6	-
P1	FB	K	36/39	27	53,1	+ 2,1	3,3
P2	FB	G	-	21	49,8	- 1,2	-
P3	Schotterb.	K	150/153	26	50,8	- 0,2	1,0
P4	Schotterb.	G	-	32	49,8	- 1,2	-
B1	FB	K	47	30	70,5	+ 19,5	19,1
B2	FB	G	-	34	51,4	+ 0,4	-
D1	FB	K	40/43	18	62,3	+ 11,3	12,5
D2	FB	G	-	23	49,8	- 1,2	-
S1	Schotterb.	K	200/204	24	48,5	- 2,5	1,4
S2	Schotterb.	G	-	26	47,1	- 3,9	-
Mittelwerte (arithmet.) / Std.abw.:		K (Anz 12)	< 50	26	58,9 / 5,0	+ 7,9	+ 7,5
		G (Anz 11)	-	28	51,4 / 2,2	+ 0,4	-
Mittelwerte (arithmet.) / Std.abw. ohne „Ausreißer“ N2, B1:		K (Anz 10)	< 50	28	57,4 / 3,4	+ 6,4	+ 5,9
		G (Anz 9)	-	27	51,5 / 2,4	+ 0,5	-
Mittelwerte (arithmet.) / Std.abw.:		K (Anz 3)	≥ 100	32	49,2 / 1,4	- 1,8	+ 1,8
		G (Anz 3)	-	33	47,4 / 2,3	- 3,6	-

*) Differenz zu 51 dB(A)

**) Differenz Kurve-Gerade

Für die Untersuchung des Einflusses der Kurven auf die Schallemissionen wurden Meßquerschnitte an unmittelbar aufeinanderfolgenden geraden Streckenabschnitten und Kurven mit gleichem Oberbau ausgewählt, an denen die Schallemissionen für jede Vorbeifahrt in der Geraden und in der Kurve gemessen werden konnte. Somit konnten unterschiedliche Einflüsse des Oberbaues und der eingesetzten Wagentypen ausgeschlossen werden; dagegen konnten Unterschiede des Fahrflächenzustandes der Schienen nicht immer vermieden werden (u. a. kurvenbedingte Unterschiede, stark beanspruchte Innenschiene etc.).

In **Tabelle 3** sind die ausgewählten Querschnitte mit den dazugehörigen Meßergebnissen zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, daß die meisten Radien in der Größenordnung von 25 m bis 50 m lagen; an drei Kurven-Meßquerschnitten mit korrespondierenden Meßquerschnitten an geraden Streckenabschnitten konnten die Kurvengeräusche an größeren Radien (max. 204 m) gemessen werden. In Tabelle 3 sind für die untersuchten Gleisbögen die arithmetischen Mittelwerte getrennt nach Kurvenradien < 50 m bzw. ≥ 100 m angegeben. Zusätzlich sind für Kurvenradien < 50 m die Mittelwerte ohne die „Ausreißer“ angegeben.

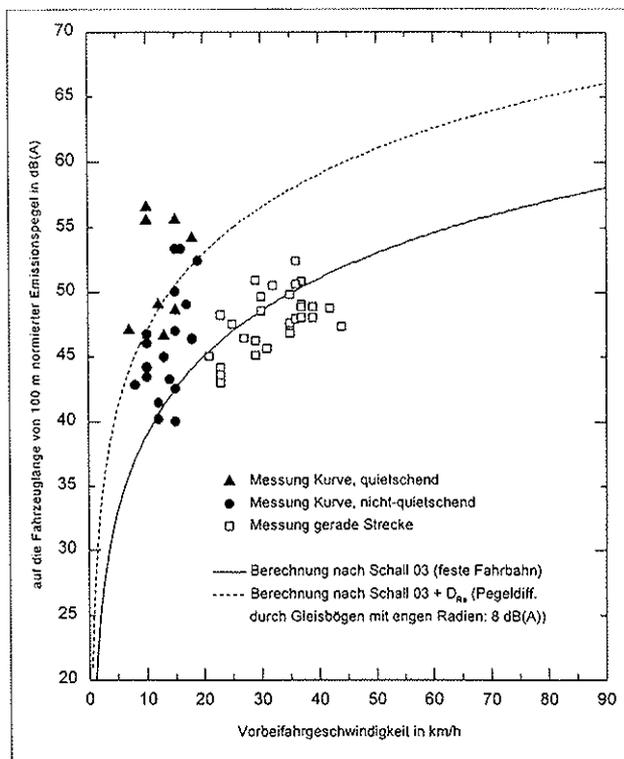


Bild 3 Vergleich gerade Strecke - Kurve.

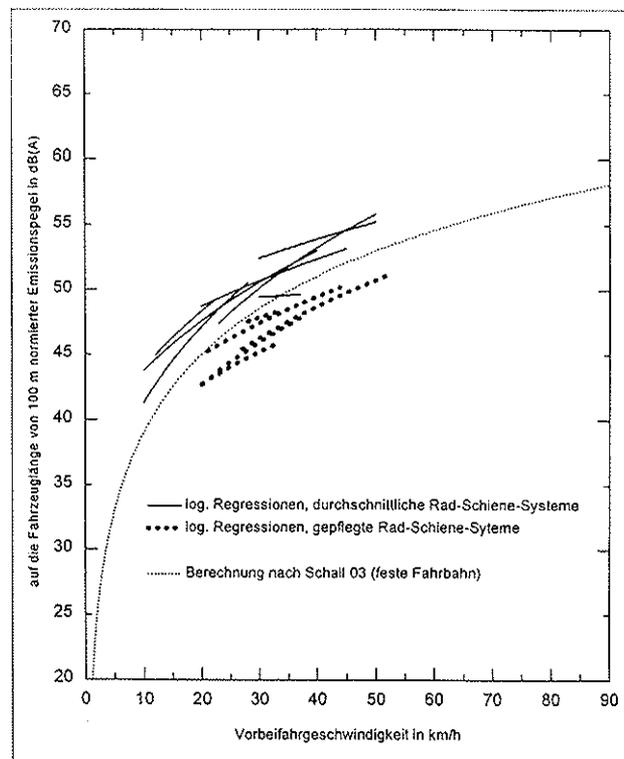


Bild 4 Abhängigkeit des Emissionspegels von der Geschwindigkeit bei Fester Fahrbahn.

In Bild 2 ist die Abhängigkeit der Pegeldifferenz zwischen Kurve und Gerade vom Radius dargestellt. Es ist erkennbar, daß der Pegelunterschied Kurve - Gerade bei den größeren Radien wie erwartet geringer ausfällt. Insgesamt ist eine starke Streuung in den Pegelunterschieden Kurve - Gerade festzustellen: Sie schwankt zwischen 1 dB (bei nasser Schiene) und 19 dB (Kirnitzschtalbahnhof). Das extreme Kurvenquietschen bei der Kirnitzschtalbahnhof ist auf die zweiachsigen Fahrzeuge (Achsenabstand der starren Achsen 3,2 m) zurückzuführen.

In Bild 3 sind die gemessenen Schallemissionen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit am Beispiel der Meßergebnisse am Querschnitt in München (Tivolistraße) dargestellt. Hieraus geht hervor, daß bei gleicher Geschwindigkeit ein starker Unterschied zwischen den Schallemissionen in der Kurve und Gerade besteht. Die Kurvengeräusche liegen dabei deutlich über den Geräuschen an den geraden Streckenabschnitten. Zudem ist dabei zu beachten, daß selbstverständlich die Geschwindigkeiten in den Kurven weit unter denjenigen in der Gerade liegen. Weiterhin ist aus Bild 3 ersichtlich, daß an dem betrachteten Querschnitt die gemessenen Schallemissionen in ihrer Gesamtheit mit den nach Schall 03 errechneten Werten gut übereinstimmen. Die weiter vorgenommene Differenzierung in quietschende und nicht quietschende Kurvengeräusche zeigt, daß die nicht quietschenden Kurvengeräusche unter den quietschenden Kurvengeräuschen, aber über den Geräuschen am geraden Streckenabschnitt liegen. Dies ergänzt die in [4] dargestellten Ergebnisse, die anhand von Schallmessungen an Kurvenabschnitten ohne direkten meßtechnischen Vergleich der Schallemissionen an anschließenden geraden Streckenabschnitten ermittelt wurden. Aus der Meßerfahrung vor Ort

kann abgeleitet werden, daß auch bei nicht quietschenden Vorbeifahrten in den Kurven Knarz- und Kneter-Geräusche auftreten, die die Geräusche in der Geraden überragen.

Zusammenfassend läßt sich aus den Tabellen und Abbildungen zum Vergleich der Geräuschemissionen Gerade - Kurve folgendes ableiten:

- Insgesamt schwankt der Pegelunterschied zwischen Kurve und Gerade zwischen 1 dB (nasse Schiene) und 19 dB (extremes Kurvenquietschen).
- Der Unterschied zwischen den Geräuschen in der Kurve und auf der Gerade ist bei größeren Radien (100 bis 200 m) geringer als bei kleineren Radien. Die vorliegende Datenmenge reicht allerdings nicht aus, eine Abhängigkeit zwischen Kurvenradius und Kurvengeräuschen herzustellen. Die an den drei untersuchten Kurven mit Kurvenradien zwischen 100 und 200 m festgestellte mittlere Pegelerhöhung an Gleisbögen im Vergleich zu geraden Streckenabschnitten beträgt ca. 2 dB(A).
- In Kurven liegen die Emissionspegel quietschender Vorbeifahrten um ca. 5 bis 10 dB(A) über den Emissionspegeln nicht quietschender Vorbeifahrten. Nicht quietschende Kurvengeräusche liegen wiederum im Mittel um ca. 3 dB(A) bis 5 dB(A) über den nach Schall 03 für die Gerade ermittelten Vorbeifahrtgeräuschen.
- Frequenzanalysen des Kurvenquietschens zeigen unterschiedliche Pegelmaxima in unterschiedlichen Frequenzen. Beispielsweise können deutliche Pegelspitzen gleichzeitig bei 3 kHz, 6 kHz und 9 kHz auftreten.

Die Erhebungen bei den einzelnen Verkehrsbetrieben zeigten, daß mit unterschiedlichen Mitteln gegen das Kurvenquietschen vorgegangen wird: In Augsburg, München, Nürnberg und Würzburg werden Auftragsschweißungen

durchgeführt, in Nürnberg, Plauen und Bad Schandau (Kirnitzschtalbahnhof) werden Spurkranz- bzw. Schienenfahrflächen-Schmierungen mit einem eigenen Schmierfahrzeug vorgenommen. Nach Auskunft der jeweiligen Verkehrsbetriebe sind diese Maßnahmen erfolgreich, jedoch konnte hierzu kein direkter meßtechnischer Nachweis geliefert werden.

3.2 Vergleich der Schallemissionen bei verschiedenen Oberbauformen

Die Auswertungen zu den verschiedenen Oberbauformen [vgl. 5] kommen zu folgenden Ergebnissen:

a) Feste Fahrbahn

● Insgesamt schwanken die Mittelwerte der Grundwerte um den nach Schall 03 berechneten Wert etwa um +/- 3,5 dB(A). Der Schwankungsbereich ist allerdings nicht nur auf die unterschiedlichen Oberbauformen zurückzuführen; vielmehr sind darin auch Schwankungen bedingt durch unterschiedliches Wagenmaterial und Schienenfahrflächen enthalten.

● Faßt man die Werte für das **gepflegte Rad-Schiene-System** zusammen, ergibt sich ein mittlerer Emissionspegel, der um 1,9 dB(A) unter dem Rechenwert nach Schall 03 liegt. Für das **durchschnittliche Rad-Schiene-System** liegt der mittlere Emissionspegel um 2,7 dB(A) über dem Rechenwert nach Schall 03 (ein **gepflegtes Rad-Schiene-System** liegt dann vor, wenn das Schienennetz regelmäßig mit einem Schleifzug geschliffen wird und die Radsätze regelmäßig oder beim Auftreten von Flachstellen auch kurzfristig in einer Radsatz-Profilierungsmaschine bearbeitet werden).

● Durch die an einem Meßquerschnitt eingebaute Unterschottermatte zur Erschütterungsminderung wird gegenüber dem herkömmlichen Oberbau keine signifikante Verbesserung in der Schallemission erzielt.

● Zwischen den eingedeckten Oberbauformen und den Festen Fahrbahnen auf massiver Tragschicht besteht hinsichtlich der Schallemission kein wesentlicher Unterschied. Daher muß hinsichtlich der Schallemissionen keine Unterscheidung dieser Oberbauformen getroffen werden.

In **Bild 4** sind die gemessenen Schallemissionen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit an den Meßquerschnitten mit Fester Fahrbahn dargestellt. Das gepflegte Rad-Schiene-System zeigt gegenüber dem durchschnittlichen Rad-Schiene-System deutlich geringere Schallemissionen.

b) Schotteroberbau

Für den Vergleich des Einflusses von Schotteroberbau mit verschiedenen Schwellenarten wurden Messungen an 15 Meßquerschnitten durchgeführt. Die beiden zu vergleichenden Oberbauformen unterscheiden sich im wesentlichen nur im Material der Schwelle; die Befestigung der Schienen bzw. die Auflagerung der Schiene auf der Schwelle war bei den Holz- und Betonschwellen vergleichbar. Bei diesen Oberbauformen wurde als Schiene eine rillenlose Schiene verwendet. Zusammenfassend können aus den Meßergebnissen folgende Schlußfolgerungen getroffen werden:

● Die Schallemissionen für Schotterbett mit **Betonschwellen** liegen bei durchschnittlichem Rad-Schiene-System im Bereich der nach Schall 03 errechneten Werte (mit Berücksichtigung des Fahrbahnzuschlags von 2 dB(A)). Bei gepflegtem Rad-Schiene-System wird der nach Schall 03 errechnete Wert zwischen 0,7 dB(A) und 7,7 dB(A) unterschritten.

● Beim Schotterbett mit **Holzschwellen** überschreiten die Schallemissionen bei den untersuchten Meßquerschnitten mit durchschnittlichem Rad-Schiene-System den nach Schall 03 errechneten Wert im Mittel um 1,6 dB(A). Bei gepflegtem Rad-Schiene-System wird der nach Schall 03 errechnete Wert bei vier Meßquerschnitten zwischen 1,9 dB(A) und 3,9 dB(A) unterschritten, bei einem Meßquerschnitt um 1,0 dB(A) überschritten.

● Insgesamt bestätigt sich die gemäß Schall 03 unterschiedliche Behandlung von Holz- gegenüber Betonschwellen nicht. Die Schallemissionen der untersuchten Meßquerschnitte mit Schotterbett und **Holzschwellen** liegen im Bereich der nach Schall 03 errechneten Werten mit Berücksichtigung des für das Schotterbett mit **Betonschwellen** vorgesehenen Fahrbahnzuschlags von 2 dB(A).

c) Fahrbahnen mit Rasengleis

Der Bau von „Rasengleisen“ („Rasenbahnkörper“ nach Schall 03) wurde erst in der jüngeren Vergangenheit verstärkt betrieben. Insgesamt stehen für den Vergleich acht Meßquerschnitte mit zwei unterschiedlichen Bauformen von Rasenbahnkörpern mit hochliegendem bzw. mit tiefliegendem Rasen zur Verfügung. In **Bild 5** sind die beiden Oberbauformen im Prinzip dargestellt.

Als Gleise mit „hochliegendem Rasen“ werden die Gleise bezeichnet, bei denen die Raseneindeckung bis zur Schienenoberkante reicht. Bei Gleisen mit „tiefliegendem Rasen“ reicht die Raseneindeckung nur bis in Höhe der Schienenbefestigung. Die Schienenbefestigungen sind zu Wartungs- und Kontrollzwecken zugänglich.

Bei Gleisen mit hochliegendem Rasen werden in der Regel Rillenschienen verwendet, während bei Gleisen mit tiefliegendem Rasen rillenlose Schienen verwendet werden.

Die Messungen zu den Schallemissionen von Rasengleisen zeigen: Der gemäß Schall 03 für Rasengleise zu verwendende Abschlag von 2 dB(A) erscheint für Rasengleise mit tiefliegendem Rasen tendenziell als zu hoch. Rasengleise mit hochliegendem Rasen zeigen im Mittel um etwa 2 dB(A) geringere mittlere Schallemissionen im Vergleich zu Rasengleisen mit tiefliegendem Rasen. Insgesamt zeigen sich noch starke Abweichungen in den gemessenen Werten, so daß weitere Messungen erforderlich sind.

3.3 Vergleich der Schallemissionen bei unterschiedlichem Fahrflächenzustand der Schienen

Der Einfluß der Beschaffenheit der Lauffläche der Schienen wurde an zwei Querschnitten vergleichend gemessen. Die Laufflächen von Straßenbahnschienen weisen zum einen Verriffelungen auf, zum anderen wird die Lauffläche im Bereich von geschlossenem Oberbau durch darüber fahrende Kfz und durch Quarzsand als Bremsunterstützung stark in Mitleidenschaft gezogen.

Bei den meisten Verkehrsbetrieben wird durch regelmäßige Gleispflege versucht, die Schienen in einem gepflegten Zustand zu erhalten. Diese Gleispflege besteht bei den meisten Verkehrsbetrieben im Abfahren des Streckennetzes mit Schienenschleifwagen. In **Bild 6** sind gemittelte Frequenzspektren von Straßenbahnvorbeifahrten vor und nach dem Schienenschleifen dargestellt.

Die Meßergebnisse lassen folgende Interpretationen zu:

● Der Vergleich der Meßergebnisse vor und nach dem Schienenschleifen zeigt bei gleichem Wagenmaterial einen Unter-

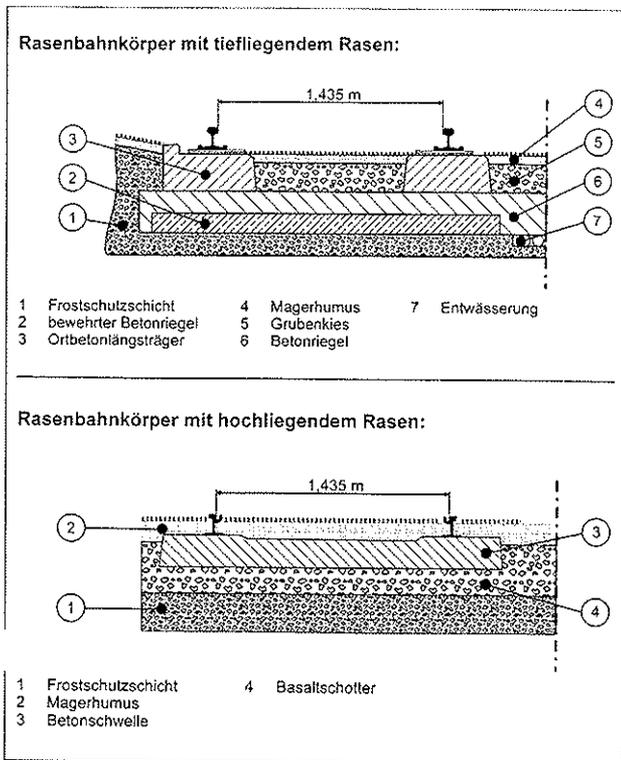


Bild 5 Oberbauformen Rasenbahnkörper.

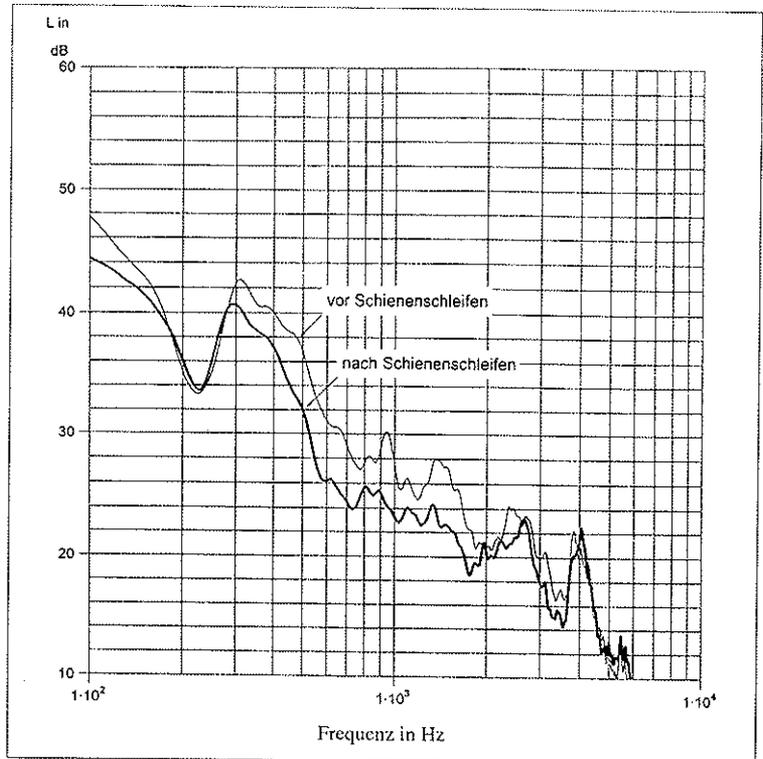


Bild 6 Vergleich gemittelter Frequenzspektren von Straßenbahnen vor und nach dem Schienenschleifen (Meßquerschnitt Würzburg Wiener Ring).

schied von ca. 3 dB(A). Dieser Unterschied erstreckt sich nahezu konstant über den gemessenen Geschwindigkeitsbereich von ca. 45 km/h bis 60 km/h.

• Der Vergleich von alten mit neuen Schienen für den geschlossenen Oberbau zeigt an einem Meßquerschnitt in Würzburg für Niederflurfahrzeuge einen Pegelunterschied von 8,7 dB(A), für Nicht-Niederflurfahrzeuge eine Differenz von 5,8 dB(A). Ob in diesem Fall dieser große Unterschied nur auf die guten Laufflächen der neuen Schienen zurückzuführen ist oder ob der gesamte neue Oberbau zu diesen Pegelminderungen geführt hat, kann nicht geklärt werden.

3.4 Vergleich der Schallemissionen bei verschiedenen Fahrzeugtypen

Die Verkehrsbetriebe der Städte und Gemeinden, in denen die Schallmessungen durchgeführt wurden, unterhalten einen unterschiedlichen Fuhrpark von Schienennahverkehrsbahnen. Die Pflege dieses Fahrzeugparks variiert in den einzelnen Städten stark. Hinsichtlich der Auswirkung auf die Schallemissionen ist von besonderem Interesse der Einsatz von Unterflurdrehmaschinen (bzw. Radsatzprofilierungsmaschinen) zur Pflege der Radlaufflächen sowie die Spurranzschmierung.

Ein systematischer Vergleich der Schallemissionen der einzelnen Fahrzeugtypen ist nicht möglich, da die weiteren Einflußgrößen der Schallemissionen wie Oberbau, Fahrflächenzustand der Schienen, Meßbedingungen usw. nicht über alle gemessenen Querschnitte hinweg kontrolliert werden können. Der Vergleich der Schallemissionen unterschiedlicher Fahrzeugtypen beschränkt sich daher auf den Vergleich an jeweils einem Meßquerschnitt. In Hinblick auf die in der Schall 03 vorgeschriebenen Zu- und Abschläge je Fahrzeugart wurden insbesondere Vergleiche von Niederflurfahrzeu-

gen mit Nicht-Niederflurfahrzeugen sowie von Stadtbahnen mit Straßenbahnen durchgeführt.

Aus den Messungen können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

• Ein Vergleich der Schallemissionen des älteren Niederflurfahrzeugs mit dem Prototyp der neuesten Fahrzeuggenerationen in Würzburg zeigt um 1 dB(A) geringere Schallemissionen des älteren Niederflurfahrzeugs. Allerdings liegen die Schallemissionen beider Fahrzeugtypen an dem gemessenen Querschnitt mit gepflegtem Rad-Schiene-System um 4 dB(A) bis 5 dB(A) unter den nach Schall 03 berechneten Werten.

• Die Schallemissionen des in Würzburg eingesetzten Niederflurfahrzeugs liegen mit ca. 4 dB(A) bis 6 dB(A) deutlich unter den Schallemissionen von Nicht-Niederflurfahrzeugen. Dies ist im wesentlichen auf die Abschirmung der Räder durch weitgehende Verkleidung bei den Niederflurfahrzeugen zurückzuführen.

• Die Schallemissionen der beiden in München eingesetzten U-Bahn-Fahrzeugtypen unterscheiden sich in ihrer Schallemission kaum. Allerdings liegen die Schallemissionen um 6 dB(A) unter den nach Schall 03 errechneten Werten. Die neueren Fahrzeuge sind um 1 bis 2 dB(A) lauter als die älteren Fahrzeuge. Am untersuchten Meßquerschnitt entsprach der Fahrflächenzustand der Schienen einem optimalen neuwertigen Zustand. In [12] werden Ergebnisse aus einer Vielzahl von Schallmessungen an U-Bahnen zusammengefaßt.

4 Schlußfolgerungen

In einer vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz beauftragten Untersuchung wurden die Berechnungsansätze der 16. BImSchV [1] bzw. der dieser Verordnung zugeord-

neten „Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen – Schall 03“, Ausgabe 1990 [2] für die Schallemissionen von Schienennahverkehrsbahnen durch umfangreiche Messungen überprüft.

Die Messungen wurden in den bayerischen Städten Augsburg, München, Nürnberg und Würzburg, den sächsischen Städten Bad Schandau, Dresden und Plauen und in den baden-württembergischen Städten Stuttgart und Karlsruhe durchgeführt. In die Auswertungen wurden Messungen des BayLfU aus den Jahren 1984 bis 1993 einbezogen.

Insgesamt wurden Messungen an 61 Querschnitten durchgeführt. An jedem Querschnitt wurden im Mittel 38 Vorbeifahrten von Schienennahverkehrsbahnen gemessen, von denen wiederum für die weiteren Auswertungen im Mittel 28 Vorbeifahrten verwendet werden konnten. Somit standen für die Auswertungen insgesamt die Meßwerte von ca. 1730 Vorbeifahrten zur Verfügung.

Die gemessenen Werte wurden mit den errechneten Werten nach Schall 03 verglichen. In **Tabelle 4** sind die Zu- und Abschläge für die Fahrzeugart (D_{Fz}), für die Fahrbahnart (D_{Fb}), für den Kurveneinfluß (D_{Ra}) sowie für die Gleis- und Radsatzpflege, wie sie sich aus den Meßwerten ergeben, mit den in der Schall 03 festgelegten Werte verglichen.

Die wesentlichen Untersuchungsergebnisse sind:

- Bei der Korrektur für die Fahrbahnart kann beim Schotterbett die Unterscheidung zwischen Beton- und Holzschwelle entfallen. Es wird vorgeschlagen, für das Schwellengleis im Schotterbett einen Zuschlag von 2 dB(A) zu vergeben. Bei der Festen Fahrbahn wird ein Zuschlag von 7 dB(A) vorgeschlagen. Die Korrekturen für Rasengleise müßten differenziert werden. Es wird vorgeschlagen, für Rasenbahnkörper mit tiefliegendem Rasen einen Zuschlag von 1 dB(A), für Rasenbahnkörper mit hochliegendem Rasen einen Abschlag von 1 dB(A) zu vergeben. Die Zu- und Abschläge für die Rasenbahnkörper sind jedoch noch nicht genügend abgesichert.
- Wird bei Straßenbahnen ein gepflegtes Rad-Schiene-System nachgewiesen, kann ein Abschlag von 3 dB(A) vergeben werden, sofern die vorgenannten Fahrbahnzuschläge bzw. -abschläge in der o. g. Höhe verwirklicht werden.
- Bei der Einstufung der Fahrzeugtypen kann der Zuschlag von 3 dB(A) für Straßenbahnwagen beibehalten werden. Für Niederflurfahrzeuge und Stadtbahnfahrzeuge wird ein Zuschlag von 1 dB(A) vorgeschlagen. Diese Zuschläge sind noch nicht genügend abgesichert.
- Der Zuschlag von 8 dB(A) gemäß „Schall 03“ für den Kurveneinfluß wurde durch die Messung bei Kurvenradien < 50 m bestätigt; allerdings kann dieser Zuschlag abweichend von der Schall 03 nur um 3 dB(A) vermindert werden, falls nachgewiesen werden kann, daß das Kurvenquietschen durch technische Vorkehrungen dauerhaft vermindert wird.

Tabelle 4 | Zu- und Abschläge nach den Meßergebnissen und nach Schall 03 für Schienennahverkehrsbahnen.

Zuschlagart	nach Meßergebnissen in dB	nach Schall 03 in dB
Fahrzeugart D_{Fz}		
– U-Bahn München	-1	2
– Straßenbahn-Niederflurfahrzeug	3	3
– Straßenbahn-Niederflurfahrzeug	1 *)	3
– Stadtbahn-Fahrzeug	1 *)	3
Fahrbahnart D_{Fb}		
– Rasenbahnkörper – Gleiseindeckung mit tiefliegendem Rasen	1 *)	-2
– Rasenbahnkörper – Gleiseindeckung mit hochliegendem Rasen	-1 *)	-2
– Schotterbett – Holzschwellen	2	0
– Schotterbett – Betonschwellen	2	2
– Feste Fahrbahn – nicht absorbierend	7	5
Gleis- und Radsatzpflege – gepflegtes Rad-Schiene-System	-3	-
Kurveneinfluß D_{Ra}		
– Kurvenradius < 50 m quietschend	8	
– Kurvenradius < 50 m nicht quietschend	5	
– Kurvenradius von 50 m bis < 300 m quietschend, nicht quietschend	2 *)	
– Kurvenradius < 300 m quietschend		8
– Kurvenradius < 300 m nicht quietschend		0
– Kurvenradius von 300 m bis < 500 m quietschend		3
– Kurvenradius von 300 m bis < 500 m nicht quietschend		0

*) Ergebnisse noch nicht genügend abgesichert

Literatur

- [1] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990.
- [2] Akustik 03, Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen – Schall 03, Ausgabe 1990.
- [3] E DIN 45642: Messung von Verkehrsgeräuschen. Entwurf, März 1997.
- [4] Krüger, F.: Kurvenquietschen im Nahverkehr – Schall 03. Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA) im Auftrag des Bundesministers für Verkehr. Forschungsbericht FE-Nr. 70 413/93, August 1994.
- [5] Oberbau-Arten und Oberbau-Formen bei Nahverkehrsbahnen. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV). Oktober 1995.
- [6] Hendlmeier, W.: Handbuch der deutschen Straßenbahngeschichte. 2 Bde. München 1979 bzw. 1981.
- [7] Untersuchung der Schallemissionen von Güterwagen in Gleisbögen mit engen Radien innerhalb großflächiger Bahnanlagen, Schallmessungen im Bereich der Rangierbahnhöfe München Nord und Regensburg Ost. Schalltechnische Untersuchung von Möhler+Partner im Auftrag der Deutschen Bahn AG, ZBT 51, Juni 1997.
- [8] Hendlmeier, W.: Messung und Prognose von Schienenverkehrslärm unter Berücksichtigung des Kurvenquietschens. Z. Lärmbekämpf. 37 (1990) S.166–169.
- [9] Prestele, G., Möhler, U., Hendlmeier W.: Schallemissionen von Straßenbahnen. DAGA 97, Fortschritte der Akustik, 23. Deutsche Jahrestagung für Akustik.
- [10] Hendlmeier, W., Holzer, A.: Schallemissionen von Straßenbahnen. In: Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, München 1995.
- [11] Schallemissionen von Schienennahverkehrsbahnen. Bericht Nr. 080–416 von Möhler + Partner im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, Dezember 1997.
- [12] Giesler, H.-J.: Geräuschemissionen von U-Bahnen. DAGA 97, 23. Deutsche Jahrestagung für Akustik.
- [13] Giesler, H.-J., Wende, H.: Geräuschemissionen von Straßenbahnen. DAGA 96, Fortschritte der Akustik, 22. Deutsche Jahrestagung für Akustik.