Das erforderliche Schalldämm-Maß von Schallschutzfenstern – Vergleich verschiedener Regelwerke

1. Allgemeines

Das Schalldämm-Maß von Fenstern lässt sich nach VDI 2719 [1], DIN 4109 [2], Akustik 23 [3] und "Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung" (24. BImSchV) [4] ermitteln. Im folgenden Beitrag werden sie besprochen. Unterschiede und Mängel werden aufgezeigt.

Eine europäische Norm DIN-EN 12354-3 [5] ist im September 2000 erschienen. Auf sie wird hier nicht weiter eingegangen, weil sie nicht behördenverbindlich eingeführt ist. Auch die Akustik 23 wird nicht behandelt, da das in ihr angegebene Rechenverfahren seit dem Erscheinen der 24. BImSchV nicht mehr angewandt wird.

In den Regelwerken VDI 2719 und 24. BImSchV wird unter Berücksichtigung der Raumgeometrie und der Frequenzcharakteristik der einwirkenden Lärmart zuerst das notwendige bewertete Schalldämm-Maß für die gesamte Außenfläche des betrachteten Raumes berechnet. Daraus läßt sich dann unter Berücksichtigung der Fensterflächen sowie der Schalldämm-Maße und der Flächen der übrigen Außenbauteile das erforderliche Schalldämm-Maß der Fenster ermitteln. Nach DIN 4109 bestimmt man das notwendige Schalldämm-Maß der Außenfläche anhand von Tabellen. Zur Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes eines einzelnen Fensters wird das Beiblatt 1 zu DIN 4109 [6] herangezogen.

Die Abwicklung von passiven Lärmschutzmaßnahmen ist für Bundesfernstraßen in den „Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an bestehenden Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes -VLärmSchR 97-“ [7] geregelt, für den Bereich der Deutschen Bahn AG in der Akustik 23.

2. Das Schalldämm-Maß

Das Schalldämm-Maß R eines Bauteiles (z.B. eines Fensters oder einer Wand) ist folgendermaßen definiert (s. z.B. [8]):

$$R = 10 \lg (P_1 / P_2) \qquad (1)$$

mit P_1 = von außen auf das Bauteil auftreffende Schalleistung,
P_2 = vom Bauteil nach innen abgestrahlte (durchgelassene) Schalleistung.

Wendet man diese Definition auf die Schallübertragung zwischen zwei Räumen („Sende-“ und „Empfangsraum“) über eine Trennwand (Tür, Fenster...) an, so sind die Gegebenheiten der Raumakustik zu berücksichtigen. Dann gilt:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg (S / A_2) \qquad (2)$$

mit L_1 = Schallpegel im Senderaum,
L_2 = Schallpegel im Empfangsraum,
S = Fläche der Trennwand,
A_2 = äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraumes.

Dabei ist ein diffuses Schallfeld im Sende- und Empfangsraum vorausgesetzt. Bei der Übertragung von Verkehrslärm (Linienquelle) durch ein Fenster in einen Raum ist diese Bedingung jedoch nicht erfüllt; die Schalleinstrahlung erfolgt gerichtet (in einer Ebene). Man kann zeigen, daß das Schalldämm-Maß eines Fensters bei einer solchen Richtcharakteristik um 3 dB geringer ist als bei diffusem Schalleinfall (s. z.B.

[9]). Aus diesem Grund wird nach der VDI 2719 eine Korrektur von +3 dB dem Beurteilungspegel zugeschlagen.

Das Schalldämm-Maß ist außerdem von der Frequenz abhängig, so daß man eigentlich eine frequenzabhängige Berechnung anstellen müßte. Beim Verkehrslärm geht man jedoch von Normspektren aus [10] und rechnet mit A-bewerteten Beurteilungspegeln. Daher verwendet man auch für das Schalldämm-Maß eine Einzahl-Angabe, das sogenannte „bewertete Schalldämm-Maß“ R_w nach DIN EN ISO 717-1 [11].

Das Schalldämm-Maß eines Bauteils hängt von den Materialeigenschaften (vor allem von der flächenbezogenen Masse), von der Einfallsrichtung des Schalles und von der Frequenz ab. Da die einzelnen Verkehrsarten (Straßenverkehr, Schienenverkehr...) unterschiedliche Frequenzspektren aufweisen, werden in den Regelwerken Korrekturwerte für die einzelnen Verkehrsarten berücksichtigt.

Bei der Anwendung der hier betrachteten Regelwerke ist zu beachten, daß für das bewertete Schalldämm-Maß zwei Definitionen gebräuchlich sind:

- R_w ist das bewertete Schalldämm-Maß des im Prüfstand (P-F) nach DIN EN ISO 140-1 [13] eingebauten funktionsfähigen Fensters („Labor-Schalldämm-Maß“).
- R'_w (sprich: R W Strich) ist das bewertete Schalldämm-Maß des am Bau funktionsfähig eingebauten Fensters ("Bau-Schalldämm-Maß“), gemessen nach DIN EN ISO 140-5 [12]. Der Apostroph soll andeuten, daß die Schallübertragung bei einem eingebauten Fenster nicht nur über das Fenster allein, sondern auch über Nebenwege erfolgen kann.

Tab. 1:
Definition der Schallschutzklassen

Schallschutz-klasse	**bewertetes Schalldämm-Maß R'_w des eingebauten Fensters, gemessen nach DIN 52210, Teil 5** in dB	**bewertetes Schalldämm-Maß R_w des im Prüfstand (P-F) nach DIN 52210 Teil 2 eingebauten funktionsfähigen Fensters** in dB
1	25 – 29	> 27
2	30 – 34	>32
3	35 – 39	> 37
4	40 – 44	> 42
5	45 – 49	> 47
6	> 50	> 52

Nach Abschnitt 7.2 der VDI 2719 kann $R'_w = R_w$ - 2 dB gesetzt werden. Ein Fenster, dessen Schalldämm-Maß auf dem Prüfstand zu 45 dB gemessen wurde, weist also im Mittel in eingebautem Zustand nur ein Schalldämm-Maß von etwa 43 dB auf. In Beiblatt 3 zu DIN 4109 [14] ist ein detaillierteres Rechenverfahren zur Umrechnung von R'_w in R_w angegeben.

Die Angaben in den Prüfzeugnissen der Fensterhersteller beziehen sich in der Regel auf R_w.

3. Definition der Schallschutzklassen

Zur Vereinfachung der Kennzeichnung und Auswahl der Fenster sind diese in Schallschutzklassen von 1 bis 6 eingeteilt, die jeweils einen 5 dB-Bereich des Schalldämm-Maßes umfassen (Tab. 1). Die Definition der Schallschutzklassen findet man z.B. in der VDI 2719. In Tabelle 3 dieser Richtlinie sind auch Beispiele für Fensterkonstruktionen mit den erforderlichen Konstruktionsdetails aufgeführt.

4. Bestimmung der erforderlichen Schallschutzklassen nach den einzelnen Regelwerken

4.1 VDI 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen"

4.1.1 Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes für die gesamte Außenfläche eines Raumes

Das notwendige resultierende Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ in dB der *gesamten Außenfläche* (Wand, Fenster und sonstige Außenbauteile wie z.B. Rolladenkästen) eines Raumes wird wie folgt berechnet:

$$R'_{w,res} = L_a - L_i + 10 \lg (S_g / A) + K + W \qquad (3)$$

L_a = maßgeblicher A-bewerteter Außenschallpegel. Dieser kann auf zwei Arten ermittelt werden:

a) $L_a = L_0 + 3$ dB(A); L_0= berechneter Freifeld-Außengeräuschpegel (z.B. Beurteilungspegel nach DIN 18005 [15], RLS-90 [17]), oder Schall 03 [18] bzw. Akustik 04 [19]) oder gemessener Freifeld-Außengeräuschpegel, oder:

b) $L_a = L_N - 3$ dB(A); L_N = in 5 mm Abstand vor der beschallten Fläche gemessener Nahfeldpegel

L_i = angestrebter Innenschallpegel in dB(A); in Tabelle 2 sind Anhaltswerte als Mittelungspegel und als mittlerer Maximalpegel angegeben:

S_g = vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m²

A = äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m²;
in der Regel gilt: $A \approx 0{,}8 \cdot$ Grundfläche des Raumes

W = Winkelkorrektur (i.a.: W = 0)

K = Korrektursummand nach Tabelle 3, der die unterschiedlichen Frequenzspektren der einzelnen Verkehrsarten und die Frequenzabhängigkeit der Schalldämm-Maße von Fenstern pauschal berücksichtigt:

Bei starken Pegelschwankungen (also z.B. in sehr geringen Abständen von wenig befahrenen Bahnstrecken oder Straßen) können zur Kennzeichnung der erhöhten Störwirkung die Pegelspitzen berücksichtigt werden. Ergibt sich dann, dass die Differenz zwischen mittlerem Maximalpegel und Mittelungspegel größer als 10 dB ist ($L_{max} – L_{m,}$ > 10 dB), so ist für L_a der Wert L_{max} – 10 dB anzusetzen. Als Anhaltswert für den Innenschallpegel ist dann allerdings auch der Mittelungspegel und nicht der Maximalpegel entsprechend nachfolgender Tabelle 2 heranzuziehen sind.

Tab. 2:

Anhaltswerte der VDI 2719 für Innenschallpegel L_i in dB(A), die nicht überschritten werden sollten.

Raumart	**L_m** [dB(A)]	**L_{max} **)** [dB(A)]
Schlafräume nachts *)		
a) in reinen und allg. Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	25 - 30	35 - 40
b) in sonstigen Gebieten	30 - 35	40 – 45
Wohnräume tagsüber		
a) in reinen und allg. Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	30 - 35	40 - 45
b) in sonstigen Gebieten	35 - 40	45 – 50
Kommunikations- u. Arbeitsräume tagsüber		
a) Unterrichtsräume, Arztpraxen,...	30 - 40	40 - 50
b) Büros für mehrere Personen	35 - 45	45 - 55
c) Großraumbüros, Gaststätten, Läden,...	40 - 50	50 – 60

*) Beim Schlafraum nachts wird der Mittelungspegel der lautesten Nachtstunde angesetzt. Dieser liegt bei Straßenverkehrsgeräuschen erfahrungsgemäß um etwa 5 dB(A) unter dem Tag-Beurteilungspegel [1] bzw. um 0 (Autobahn) bis 6 dB(A) (Gemeindestraßen) über dem Beurteilungspegel für den gesamten Nachtzeitraum (22.00 - 6.00 Uhr).

**) Die mittleren Maximalpegel können bei Geräuschen mit starken Pegelschwankungen berücksichtigt werden.

Tab. 3
Korrektursummand K der VDI 2719 zur Berücksichtigung unterschiedlicher Frequenzspektren

Verkehrsweg	**K [dB]**
Bahnstrecken mit überwiegendem Personenverkehr	0
übrige Bahnstrecken	3
innerstädtische Straßen	6
andere Straßen	3
Verkehrsflughäfen	6

4.1.2 Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes für eine Teilfläche bzw. für ein Fenster

Aus dem erforderlichen resultierenden Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ der gesamten Außenfläche des Raumes errechnet sich bei bekannten Schalldämm-Maßen der übrigen Bauteile der Außenwand das erforderliche bewertete Schalldämm-Maß $R_{w,x}$ bzw. eines *Umfassungsbauteils* (also z.B. eines Fensters) der Fläche S_x nach Gleichung (4):

$$R_{w,x} = -10 \lg [1/S_x (S_g \cdot 10^{-0,1 R'w,res} - S_1 \cdot 10^{-0,1 Rw,1} ..... - S_n \cdot 10^{-0,1 Rw,n})] \text{ dB} \qquad (4)$$

Dabei sind $R_{w,1}$ bis $R_{w,n}$ die vorhandenen bewerteten Schalldämm-Maße in dB der übrigen Teilflächen und S_1 bis S_n deren Flächen in m^2. S_g ist die gesamte Außenfläche des betrachteten Raumes, also die Summe der Flächen S_1 bis S_n.

Achtung: Die entsprechende Gleichung (6) der VDI 2719 enthält zwei Druckfehler: Im Exponenten des zweiten Summanden in der eckigen Klammer fehlt ein negatives Vorzeichen. Außerdem muß anstelle von $R_{w,res}$ im ersten Summanden richtig $R'_{w,res}$ stehen, um einen sinnvollen Anschluß an Gleichung (1) herzustellen. Dies geht auch aus den Rechenbeispielen in den Abschnitten 6.4 und 6.5 der VDI 2719 hervor.

Das ermittelte $R_{w,x}$ ist bei der Ermittlung der erforderlichen Schallschutzklasse mit der dritten Spalte in Tabelle 2 der VDI 2719 bzw. Tabelle 1 dieser Ausarbeitung zu vergleichen.

4.2 Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV)

Der Bemessung von Schallschutzfenstern nach der 24. BImSchV werden die nach [17] bis [19] berechneten Beurteilungspegel zugrundegelegt. Einwirkungen aus bereits vorhandenen Verkehrswegen werden nicht berücksichtigt. Die nach der 24. BImSchV bemessenen Lärmschutzfenster entsprechen damit häufig nicht den Gesichtspunkten der Lärmwirkungsforschung. Die Kosten für die nach der 24. BImSchV ermittelten Lärmschutzfenster stellen streng genommen nur einen Zuschuß für lärmwirkungsgerechte Schallschutzfenster dar [27].

4.2.1 Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes für die gesamte Außenfläche eines Raumes

Das erforderliche bewertete Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ der Außenfläche errechnet sich nach folgender Formel:

$$R'_{w,res} = L_{r,T,N} + 10 \lg (S_g / A) - D + E \qquad (5)$$

Dabei bedeuten:

$L_{r,T,N}$ = $L_{r,T}$ oder $L_{r,N}$ = Beurteilungspegel nach den Anlagen 1 und 2 der 16. BImSchV für die Nacht bei Schlafräumen, für den Tag bei allen anderen Räumen,

S_g = vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m^2,

A = äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m^2. Diese wird immer nach A = 0,8 · Grundfläche des Raumes berechnet.

D = Korrektursummand zur Berücksichtigung der Raumnutzung (vgl. Tab.4)

E = Korrektursummand zur Berücksichtigung unterschiedlicher Frequenzspektren (vgl. Tab.5)

Tab. 4:
Korrektursummand D der 24. BImSchV für unterschiedliche Raumnutzungen

Raumnutzung	**D [dB]**
Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden	27
Wohnräume	37
Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, ...Unterrichtsräume	37
Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	42
Großraumbüros, Schalterräume ...	47
sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen

Die 24. BImSchV nennt also - im Gegensatz zum VDI 2719 - keine "anzustrebenden Innenpegel", sondern "versteckt" diese im Korrektursummanden D. Die „krummen“ Zahlen resultieren daraus, daß in D auch die Korrektur von 3 dB für die gerichtet einfallenden Schallstrahlen, die in der VDI 2719 in der Gleichung für den „maßgeblichen Außenschallpegel“ berücksichtigt wird**,** enthalten ist. Die Bezeichnung "Korrektursummand zur Berücksichtigung der Raumnutzung" ist also etwas irreführend. Man muß zu den Werten der Tabelle 3 dB addieren, um sie mit Tabelle 1 dieser Ausarbeitung vergleichen zu können. Die nach der 24. BImSchV „zumutbaren Innenpegel“ entsprechen damit für Schlafräume in Wohn-, Krankenhaus- und Kurgebieten den oberen Anhaltswerten der VDI 2719 und in sonstigen Gebieten (z.B. Mischgebieten) den unteren. Für Wohnräume in Wohn-, Krankenhaus- und Kurgebieten sind sie für die Betroffenen sogar um 5 dB ungünstiger als die oberen Anhaltswerte der VDI 2719, während sie in sonstigen Gebieten dem oberen Anhaltswert entsprechen.

Tab. 5:
Korrektursummand E für bestimmte Verkehrswege.

Verkehrsweg	**E** [dB(A)]
Straßen außerorts	3
Straßen innerorts	6
Schienenwege von Eisenbahnen allgemein	0
Schienenwege von Eisenbahnen mit mehr als 60 % klotzgebremsten Güterzügen, sowie Verkehrswege der Magnetschwebebahnen	2
Schienenwege von Eisenbahnen, auf denen in erheblichem Umfang Güterzüge gebildet werden	4
Straßenbahnstrecken	3

Der Korrektursummand E berücksichtigt die unterschiedlichen Frequenzspektren der einzelnen Verkehrswege und die Frequenzabhängigkeit der Schalldämm-Maße von Fenstern (Tab. 5).

Die Korrekturwerte E der 24. BImSchV sind für den Straßenverkehr mit den entsprechenden Korrekturs summanden K der VDI 2719 (Tabelle 3 dieser Arbeit) identisch, während beim Schienenverkehr stärker differenziert wird. Immissionsorte an Bahnstrecken mit überwiegend klotzgebremsten Güterzügen sind um 1 dB schlechter gestellt, an Straßenbahnstrecken um 3 dB besser.

4.2.2 Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes für ein Außenbauteil bzw. für ein Fenster

Die Gleichung zur Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes eines Außenbauteils bzw. Fensters ist identisch mit derjenigen in der VDI 2719, also Gleichung (4) in dieser Ausarbeitung.

4.3 DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau"

Das erforderliche Schalldämm-Maß der gesamten Außenfläche eines Aufenthaltsraumes wird hier an Hand einer Tabelle (Tabelle 7 dieser Ausarbeitung) bestimmt. Diese ist in der DIN 4109 etwas mißverständlich: in der Tabelle ist nur vom Schalldämm-Maß „des Außenbauteils“ die Rede, darunter könnte man z.B. ein einzelnes Fenster verstehen. Aus dem Text (Abschnitt 5.2, zweiter Absatz) geht jedoch hervor, daß damit die gesamte Außenwand gemeint ist, die aus einzelnen Teilflächen (Mauerwerk, Fenster...) bestehen kann. In der Tabelle wird nicht zwischen den verschiedenen Verkehrsarten und zwischen Wohn- und Schlafräumen unterschieden; die Bemessung des Schalldämm-Maßes für alle Raumarten wird mit den Beurteilungspegeln für den Tag durchgeführt (s. Abschnitte 5.5.2 und 5.5.3 der DIN 4109). Ausgangsgröße ist der "maßgebliche Außenlärmpegel".

An den Werten der Tabelle 7 wird eine Korrektur für die Raumakustik vorgenommen. Bei Wohngebäuden mit üblichen Raumhöhen von etwa 2,5 m und Raumtiefen von etwa 4,5 m wird ein Korrekturwert von -2 dB angesetzt. Bei davon abweichenden Raummaßen hängt der Korrekturwert von dem Verhältnis $S_{(W+F)}/S_G$ ab, wobei $S_{(W+F)}$ die Außenfläche des Aufenthaltsraumes und S_G seine Grundfläche bedeuten. Die Korrekturwerte sind in Tabelle 6 aufgeführt:

Tab. 6:
Korrekturwerte der DIN 4109 zur Berücksichtigung der Raumakustik

$S_{(W+F)}/S_G$	2,5	2	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Korrektur	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

Für Räume in Wohngebäuden mit einer Raumhöhe von etwa 2,5 m, einer Raumtiefe von mehr als 4,5 m und einem Fensterflächenanteil von 10 % bis 60 % gelten die Anforderungen der Norm als erfüllt, wenn Wand bzw. Fenster bestimmte Mindestwerte überschreiten, die in der hier nicht wiedergegebenen Tabelle 10 der DIN 4109 genannt sind.

Bei Straßenverkehrslärm wird der "maßgebliche Außenlärmpegel" mit einem Nomogramm ermittelt, das auf der überholten DIN 18005 Teil 1 [15] beruht. Er wird jetzt nach [17] berechnet oder nach DIN 45642 [20] gemessen. Beim Schienenverkehrslärm wird er regelmäßig nach [18 oder 19] berechnet oder nach DIN 45642 gemessen. Zu den Rechen- bzw. Freifeld-Meßergebnissen werden, analog zur VDI 2719, 3 dB(A) addiert; im Falle einer Messung „unmittelbar auf der Oberfläche des zu schützenden Objektes“ werden 3 dB(A) abgezogen.

Tab. 7:

Anforderungen an die Luftschalldämmung einer Außenwand nach DIN 4109

Maßgeblicher Außenlärmpegel dB(A)	**Raumart**		
	Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und ähnliches	Büroräume und ähnliches
	erf. $R'_{w,res}$ der Außenwand in dB		
bis 55	35	30	-
56 bis 60	35	30	30
61 bis 65	40	35	30
66 bis 70	45	40	35
71 bis 75	50	45	40
76 bis 80	*)	50	45
> 80	*)	*)	50
*) Festlegung aufgrund der örtlichen Gegebenheiten			

Für das resultierende Schalldämm-Maß einer aus mehreren Bauteilen bestehenden Außenwand ist in Abschnitt 11 von Beiblatt 1 zur DIN 4109 [6] eine Formel angegeben. Diese entspricht der nach $R'_{w,res}$ aufgelösten Gleichung (4) dieser Ausarbeitung. Die Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes für ein Fenster ist also identisch mit der nach VDI 2719 (Gleichung 4).

Laut Anhang B.1 der DIN 4109 können im Falle der Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels durch eine Messung bei „Straßenverkehrsgeräuschen mit starken Pegelschwankungen“ die „Pegelspitzen“ in Form des mittleren

$$\overline{L_{AF,\max}}$$

berücksichtigt werden. Dieser ist beim Straßenverkehr gemäß dieser Norm definiert als A-Schalldruckpegel L_1, der während 1% der Meßzeit erreicht oder überschritten wird. Ist die Differenz zwischen L_1 und L_{AFm} > 10 dB(A), so wird für den „maßgeblichen Außenlärmpegel“ statt des Beurteilungspegels der Wert L_1 - 10 dB(A) zugrunde gelegt.

Beim Schienenverkehr können die Pegelspitzen im Falle der Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels durch eine Messung nur unter sehr einschränkenden Bedingungen berücksichtigt werden, die in Anhang B.2 der DIN 4109 genannt werden: Wenn im Beurteilungszeitraum der Mittelungspegel L_{AFm} häufiger als 30mal oder 2mal durchschnittlich je Stunde um mehr als 15 dB(A) überschritten wird und die Differenz zwischen dem mittleren Maximalpegel

$$\overline{L_{AF,\max}}$$

und dem Mittelungspegel $L_{AF,m}$ größer als 15 dB(A) ist, so wird für den „maßgeblichen Außenlärmpegel“ statt des Beurteilungspegels der Wert

$$\overline{L_{AF,\max}} - 20 \text{ dB(A)}$$

zugrunde gelegt. Diese komplizierte Regelung ist jedoch nicht sinnvoll: Beispielsweise führt ein um 16 dB(A) über dem Mittelungspegel liegender mittlerer Maximalpegel trotz eines Überschreitens der Min-

destdifferenz von 15 dB(A) zu einem um eine Schallschutzklasse reduzierten (!) Anspruch im Vergleich zu einer Bemessung mit dem Mittelungspegel. Aus diesem Grund werden die Maximalpegel beim Schienenverkehr in den Vergleichsberechnungen (Kapitel 5) nicht berücksichtigt. Die DIN 4109 enthält als einziges der hier untersuchten Regelwerke eine Aussage darüber, wie das Schalldämm-Maß für Fenster, die der Lärmquelle abgewandt sind, bestimmt wird. Die Berechnung eines Beurteilungspegels für solche Fälle ist nämlich nach den RLS-90 und Schall 03 nicht möglich bzw. führt zu falschen Ergebnissen. Demnach kann bei offener Bebauung ein um 5 dB(A), bei geschlossener Bebauung und bei Hinterhöfen ein um 10 dB(A) reduzierter maßgeblicher Außenlärmpegel (gemeint ist wohl der ohne Berücksichtigung der Abschirmwirkung des Gebäudes berechnete maßgebliche Außenlärmpegel) angesetzt werden.

Wirken mehrere Geräuschquellen auf einen Immissionsort ein, so wird der Rechnung sinnvollerweise der resultierende Gesamtgeräuschpegel zugrundegelegt.

Hinweis: Während die VDI 2719 und die 24. BImSchV zur Ermittlung der notwendigen Schallschutzfensterklasse für das Schlafzimmerfenster den Beurteilungspegel des Nachtzeitraumes heranziehen, ist bei der Bemessung nach DIN 4109 – auch für Schlafzimmer – immer von dem Beurteilungspegel Tag auszugehen. Die DIN 4109 geht davon aus, dass die gegenüber dem Tag um 10 dB(A) höhere Schutzbedürftigkeit der Nacht (wie sie in vielen Regelwerken festgelegt ist; z.B. DIN 18005; 16. BImSchV) durch den v.a. an Stadt- und Gemeindestraßen vorherrschenden 10 dB(A) niedrigeren nächtlichen Beurteilungspegel kompensiert wird. Beträgt der Unterschied der Beurteilungspegel Tag und Nacht deutlich weniger als 10 dB(A) - ca. 5 dB(A) an Autobahnen, bis zu 0 dB(A) an Bahnlinien mit hohem Güterverkehrsaufkommen nachts - so kann eine auf den Tag ausgelegte Dimensionierung der Schalldämm- Maße der Außenbauteile zu hohe Innenraumpegel für die Nacht zur Folge haben.

Nachfolgendes Beispiel mit zwei geometrisch identischen Schlafräumen soll diese Problematik verdeutlichen: Ein Schlafraum liegt an einer vielbefahren innerstädtischen Hauptstraße (Beurteilungspegel 65/ 55 dB(A) (tags/ nachts), der andere nahe eines Bahngleises mit hohem Güterverkehrsaufkommen nachts (Beurteilungspegel 65/65 dB(A) tags/ nachts). Zur Bemessung des Schalldämm- Maßes der Außenbauteils wird gemäß DIN 4109 in beiden Fällen der maßgebliche Außenlärmpegel durch Addition von 3 dB(A) zum Beurteilungspegel Tag ermittelt (= 68 dB(A)). Daraus ergibt sich der Lärmpegelbereich IV mit einem erforderlichen resultierenden Schalldämm- Maß von 40 dB(A) für das Außenbauteil. Unter Vernachlässigung der Raumgeometrie sowie des Schalldämm- Maßes des Mauerwerks wird angenommen, dass sich tagsüber in beiden Fällen ein Innenraumpegel von 35 dB(A) tags ergibt. Nachts ergibt sich an der Hauptstraße infolge des 10 dB(A) niedrigeren Beurteilungspegels auch ein der Schutzbedürftigkeit entsprechender niedriger Innenraumpegel von 25 dB(A) nachts. Im Fall des Schlafraumes an dem Bahngleis stellt sich für die Nacht infolge des gleich hohen Beurteilungspegels auch der gleiche Innenraumpegel von 35 dB(A) wie tagsüber ein. Dieser liegt nun aber deutlich (10 dB(A)) über den Anhaltswerten der VDI 2719 für Innenschallpegel von Schlafräumen nachts, die nicht überschritten werden sollten. Das alleinige Abstellen der Schalldämm- Maße auf den Beurteilungspegel Tag kann also unter Umständen zu einer Unterdimensionierung führen.

Das LfU stellt – basierend auf der DIN 4109 – eine praktikable Lösung vor, die eine Berücksichtigung auch der Nacht- Beurteilungspegel in den entsprechenden Fällen (z.B. für Schlafzimmer) beinhaltet:

1. Schritt: Herkömmliche Ermittlung des Lärmpegelbereichs über Bildung des maßgeblichen Außenlärmpegels in Bezug zu dem Beurteilungspegel TAG

2. Schritt: Unter Einbeziehung des Beurteilungspegels NACHT Erhöhung des Lärmpegelbereichs nach folgendem Prinzip:

Differenz $L_{r,TAG} – L_{r,NACHT} \approx 10$ dB(A)	-> Keine Erhöhung des Lärmpegelbereichs
Differenz $L_{r,TAG} – L_{r,NACHT} \approx 5$ dB(A)	-> Erhöhung des Lärmpegelbereichs um 1 Stufe
Differenz $L_{r,TAG} – L_{r,NACHT} \approx 0$ dB(A)	-> Erhöhung des Lärmpegelbereichs um 2 Stufen
Differenz $L_{r,TAG} – L_{r,NACHT} : < 0$	-> Erhöhung des Lärmpegelbereichs um 3 Stufen

3. Schritt: Über die Bestimmung des resultierenden erforderlichen Schalldämm- Maßes auf Basis der veränderten Lärmpegelbereiche lässt sich nunmehr auf die entsprechende Schallschutzklasse der Fenster schließen, so dass auch während der Nachtzeit ein ausreichender Lärmschutz gewährleistet werden kann.

5. Vergleichsberechnungen

Im Folgenden soll gezeigt werden, daß die Bemessung von Fenstern nach den verschiedenen Regelwerken zu deutlich unterschiedlichen Schallschutzklassen führt. Dazu wurden Vergleichsberechnungen für die Verkehrswege Autobahn, stark befahrene Stadtstraße, schwach befahrene Stadtstraße, und DB-Hauptabfuhrstrecke (mehr als 60 % Güterzüge tags und nachts) jeweils für einen Wohn- und einen Schlafraum in einem allgemeinen Wohngebiet (WA) angestellt. Nur bei der schwach befahrenen Stadtstraße spielen für die Ermittlung der erforderlichen Fensterklassen auch Maximalpegel eine Rolle und sind allgemein gültig.

Als Immissionsort wurde ein Raum mit den Abmessungen Breite x Tiefe x Höhe = 4 m x 5 m x 3 m angenommen. Die Grundfläche beträgt somit 20 m^2 und die vom Raum aus in Richtung Geräuschquelle gesehene Gesamtaußenfläche 12 m^2. Der Raum wurde fallweise als Schlaf- oder Wohnraum in einem allgemeinen Wohngebiet angesehen. Bei der Betrachtung als Schlafraum wurde die Fensterfläche zu 3,9 m^2 angenommen; dies entspricht etwa 35 % der Außenfläche. Bei der Betrachtung als Wohnraum beträgt die Fensterfläche 7 m^2; dies entspricht etwa 60 % der Außenfläche. Das bewertete Schalldämm-Maß des Mauerwerks wurde zu 55 dB angenommen.

Die Korrektur für die Raumakustik nach DIN 4109 wurde nach Tabelle 6 dieser Ausarbeitung ermittelt. Sie beträgt -1 dB(A). Die errechneten Schalldämm-Maße für die Fenster wurden auf ganze dB(A) gerundet, bevor sie mit Tabelle 1 verglichen wurden.

Bei dem Vergleich der Schallschutzklassen für das Schlafzimmer müssen, analog zu obigen Ausführungen, die Schallschutzklassen, die sich in Abhängigkeit des Nachtbeurteilungspegels bei der Bemessung nach VDI 2719 und 24. BImSchV ergeben, mit den DIN 4109 Werten verglichen werden, die dem Beurteilungspegel Tag in den gleichen Abbildungen zugeordnet sind. Die jeweils zweiten Abbildungen für den Schlafraum (Abb. 2.2, 8.2) beziehen sich auf die o.g. modifizierte Anwendung der DIN 4109. In nachfolgenden Beispielen wird hierzu exemplarisch angenommen, dass sich die Differenz zwischen Tag- und Nacht- Beurteilungspegel und die daraus resultierender Erhöhung der Lärmpegelbereiche wie folgt verhält:

Autobahn: $L_{r,Tag}$ um 5 dB(A) größer als $L_{r,Nacht}$ -> Erhöhung Lärmpegelbereich um 1 Stufe

Stadtstraße: $L_{r,Tag}$ um 10 dB(A) größer als $L_{r,Nacht}$ -> Lärmpegelbereich bleibt gleich

DB- Strecke: $L_{r,Tag}$ gleich groß $L_{r,Nacht}$ -> Erhöhung Lärmpegelbereich um 2 Stufen

5.1 Allgemeines Wohngebiet an einer Autobahn

An einer Autobahn ist bei den hier interessierenden Abständen die Differenz zwischen den Maximalpegeln und dem Mittelungspegel in der Regel geringer als 10 dB. Daher bleiben die Maximalpegel bei Anwendung der VDI 2719 und der DIN 4109 unberücksichtigt. Beim Schlafraum muß bei der Berechnung nach VDI 2719 die lauteste Nachtstunde zugrundegelegt werden. Die Differenz zwischen dem Mittelungspegel in dieser Stunde und dem des gesamten Nachtzeitraums hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab. Hier wurde ein Erfahrungswert von 3 dB(A) angenommen.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die nach den einzelnen Regelwerken mit den im vorangegangenen Abschnitt aufgeführten Ausgangsgrößen berechneten Schallschutzfensterklassen. Schräg verlaufende Linien kennzeichnen dabei einen Wechsel der berechneten Schallschutzfensterklasse. Der Verlauf der Linie für die DIN 4109 ist nur bis zu einem Beurteilungspegel von 77 dB(A) eingetragen. Darüber ist die Schallschutzklasse „aufgrund der örtlichen Gegebenheiten“ festzulegen.

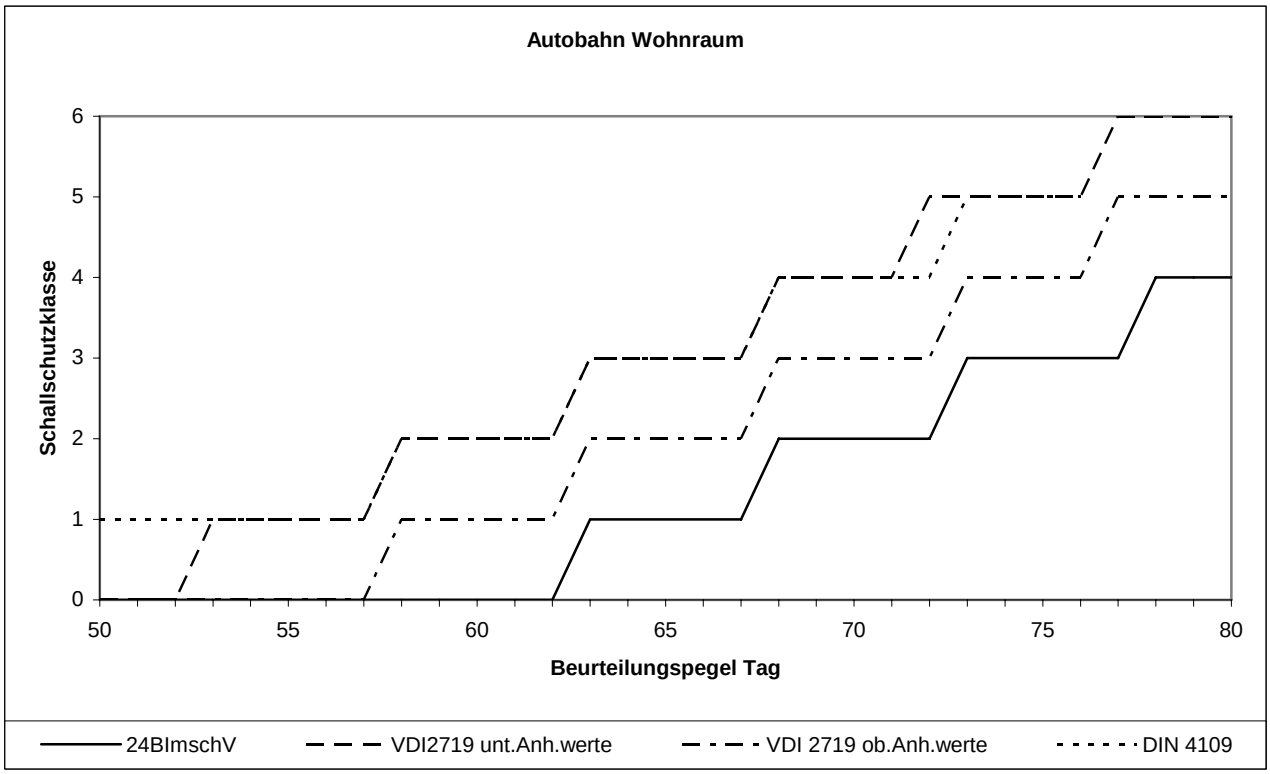

Abb.1:

Autobahn, Wohnraum im allgemeinen Wohngebiet (WA)

Für den Wohnraum ermitteln sich mittels der DIN 4109 sowie der VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten die höchsten, quasi identischen Schallschutzklassen. Um jeweils eine weitere Schallschutzklasse schlechtere Fenster werden mit der VDI 2719 mit dem oberen Anhaltswert sowie mit der 24. BImSchV ermittelt.

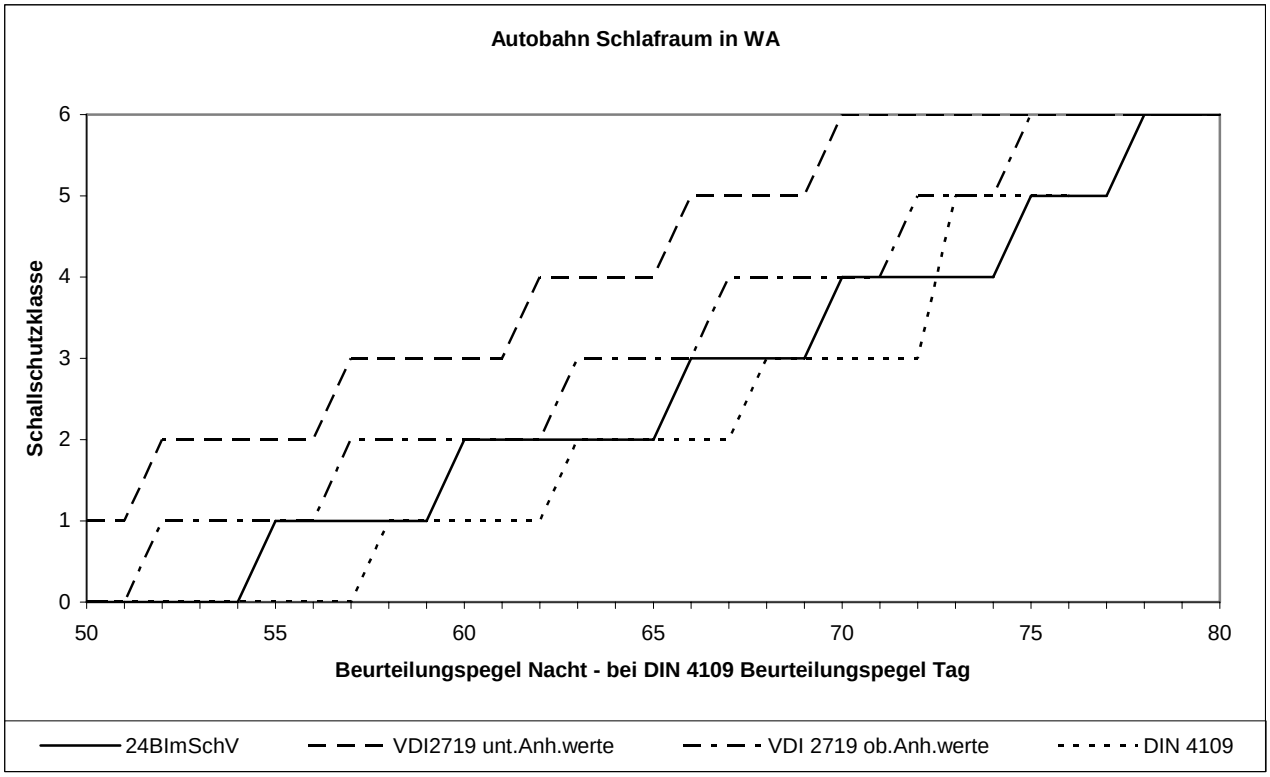

Abb.2.1:

Autobahn; Schlafraum im allgemeinen Wohngebiet (WA). Bei der VDI 2719 wurde die lauteste Nachtstunde zugrundegelegt.

Auf den 1. Blick ergeben die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten, gefolgt von der VDI 2719 mit den oberen Anhaltswerten die höchsten Schallschutzklassen für den Schlafraum. Bei der Interpretation dieser Abbildung ist jedoch Vorsicht geboten, da bei der Ermittlung der Schallschutzklasse gemäß DIN 4109, im Gegensatz zu den anderen Regelwerken, der Beurteilungspegel Tag herangezogen werden muss. Die Ermittlung der Schallschutzklasse basierend auf dem Nacht- Beurteilungspegel kann mit der DIN 4109 nicht durchgeführt werden.

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: Die der Autobahn zugerichtete Fassade eines Schlafzimmers weist Beurteilungspegel von 65 / 60 dB(A) tags/ nachts auf. Nach VDI 2719 (untere Anhaltswerte) ergibt sich unter Verwendung des Nacht- Beurteilungspegels die Schallschutzfensterklasse 3. Würde man nun bei der Ermittlung nach DIN 4109 ebenfalls den Nacht- Beurteilungspegel verwenden, würde sich nach obiger Abbildung nur die Schallschutzklasse 1 ergeben. Zieht man jedoch korrekterweise den Beurteilungspegel Tag heran, so zeigt sich, dass die Schallschutzklasse 2 ermittelt wird.

Das Verfahren der DIN 4109 birgt dabei jedoch die Gefahr, dass bei der Dimensionierung von überwiegend Nachts genutzten Räumen die Verwendung des Beurteilungspegels Tag dazu führen kann, dass der erhöhten Ruhebedürftigkeit während der Nacht nicht Rechnung getragen wird (vgl. Ausführungen unter Punkt 4).

Geht man nun analog zu den Ausführungen vor, wie unter Punkt 4 beschrieben (Ermittlung der Differenz Tag- Nacht -> Erhöhung des Lärmpegelbereichs um 1 Stufe), so ergibt sich folgendes Bild:

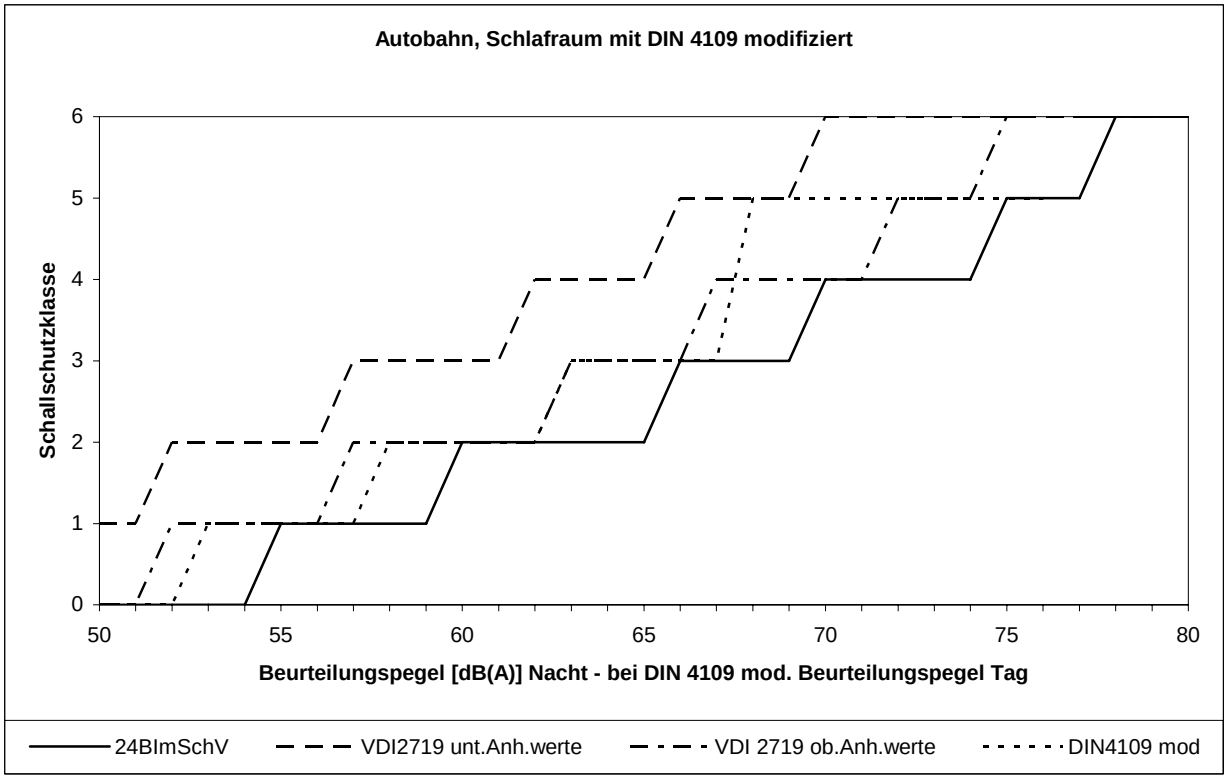

Abb.2.2:
Autobahn; Schlafraum im allgemeinen Wohngebiet (WA). Bei der VDI 2719 wurde die lauteste Nachtstunde zugrundegelegt- modifizierte DIN 4109

Bei Beurteilungspegeln von 65 dB(A) tagsüber (und einem Beurteilungspegel von 60 dB(A) nachts) ergibt sich nun nach DIN 4109 ebenfalls die Schallschutzklasse 3. Diese Abbildung ist jedoch nur bei einer Differenz von ca. 5 dB(A) zwischen Tag und Nacht gültig. Beträgt der Unterschied deutlich mehr oder weniger so muss diese Abbildung nach o.g. Prinzip angepasst werden.

Deshalb lässt sich bereits jetzt festhalten, dass im Gegensatz zur Dimensionierung von Schallschutzfenstern bei Wohnräumen, für die eine gewisse Vergleichbarkeit der verwendeten Regelwerke möglich ist, bei der Ermittlung der notwendigen Schallschutzklassen der Schlafzimmerfenster kein genereller Vergleich der DIN 4109 mit den anderen Regelwerken zulässig ist.

Lässt man die DIN 4109 außer acht, so kann man festhalten, dass die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten in beiden Fällen die günstigste, die 24. BImSchV in beiden Fällen das ungünstigte Regelwerk für die Betroffenen darstellt. Beim Wohnraum ergeben sich 2 –3 Schallschutzklassen Unterschied, beim Schlafzimmer 1-2 Klassen.

5.2 Allgemeines Wohngebiet an einer stark befahrenen Stadtstraße

An einer stark befahrenen innerörtlichen Straße ist die Differenz zwischen den Maximalpegeln und dem Mittelungspegel ebenso wie bei einer Autobahn i.d.R. geringer als 10 dB, so daß auch hier die Maximalpegel bei Anwendung der VDI 2719 und der DIN 4109 unberücksichtigt bleiben. Der Unterschied zum Anwendungsfall „Autobahn“ liegt darin, daß der Korrektursummand E der 24. BImSchV bzw. der Korrektursummand K der VDI 2719 hier aufgrund der mehr tieffrequenten Geräuschcharakteristik 6 dB (statt 3 dB) beträgt. Dadurch ergeben sich nach diesen beiden Regelwerken etwas bessere Schallschutzfensterklassen. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die resultierenden Schallschutzfensterklassen. Auch hier wurde beim Schlafraum die lauteste Nachtstunde angesetzt, wobei ebenfalls eine Differenz von 3 dB(A) zwischen deren Mittelungspegel und dem für den gesamten Nachtzeitraum angenommen wurde. Auf eine Darstellung der modifizierten DIN 4109 beim Schlafraum nach obigen Beispiel wird hier verzichtet, da bei

Stadtstraßen in aller Regel der 10 dB(A)- Unterschied zwischen Beurteilungspegel Tag und Nacht in etwa gegeben ist.

Man erkennt, daß hier im Unterschied zum Anwendungsfall „Autobahn“ alleine die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten die höchste Schallschutzklasse für den *Wohnraum* ergibt; die DIN 4109 liegt für die meisten Pegelbereiche eine Stufe darunter, in manchen Fällen liefert sie identische Klassen. Die VDI 2719 mit den oberen Anhaltswerten ergibt ebenfalls eine Klasse schlechtere Fenster. Die 24. BImSchV ist das ungünstigste Regelwerk und liegt beim Wohnraum um zwei Klassen unter der – bei gleichem Außen-Beurteilungspegel – höchsten ermittelten Schallschutzklasse.

Für den *Schlafraum* errechnet die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten wiederum die höchste Schallschutzklasse; jeweils etwa eine Klasse schlechtere Fenster errechnen die VDI 2719 bei Ansatz des oberen Anhaltswerts und die 24. BImSchV.

Die DIN 4109 ist im Gegensatz zu den anderen Richtlinien mit dem Beurteilungspegel Tag anzusetzen. Zum Vergleich mit den anderen Regelwerken ziehen wir für stark befahrene Stadtstrassen typische Beurteilungspegel von 70 / 60 dB(A) tags/ nachts heran. Die günstigste Richtlinie stellt die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten dar (SSK 4). Sowohl die DIN 4109 als auch die VDI 2719 mit den oberen Anhaltswerten ermitteln für diesen Fall die Schallschutzklasse 3. Eine weitere Schallschutzklasse niedriger ergibt sich bei Anwendung der 24. BImSchV. Würde man andere Beurteilungspegel (z.B. 68/58 dB(A) tags / nachts) zu Grunde legen, so ergeben die DIN 4109 und die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten die gleiche Schallschutzklasse. Es zeigt sich also nochmals, dass ein strikter Vergleich, welches Regelwerk die höchsten bzw. die niedrigsten Schallschutzklassen ermittelt, nur für bestimmte Situationen sinnvoll ist, und die nach DIN 4109 ermittelten Klassen meist zwischen denen der VDI 2719 mit den unteren und den oberen Anhaltswerten schwankt.

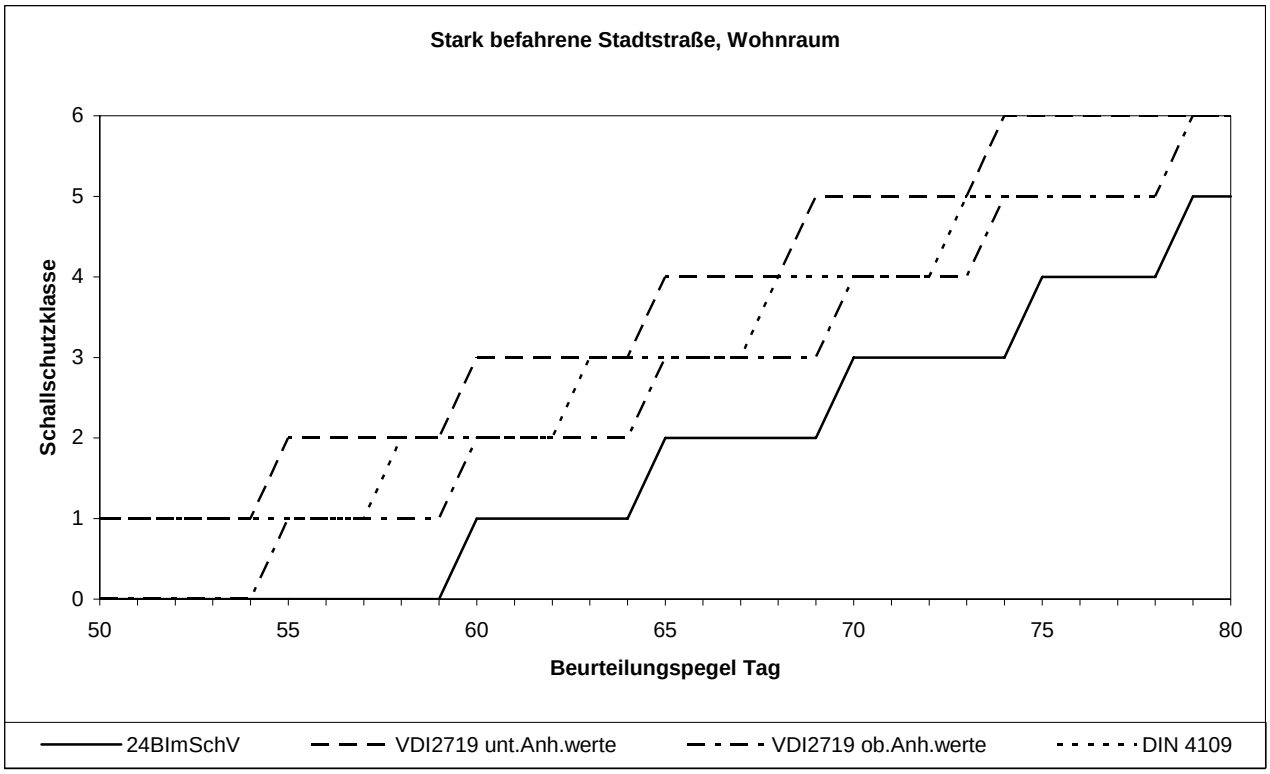

Abb.3:

Stark befahrene Ortsdurchfahrt; Wohnraum im allgemeinen Wohngebiet (WA)

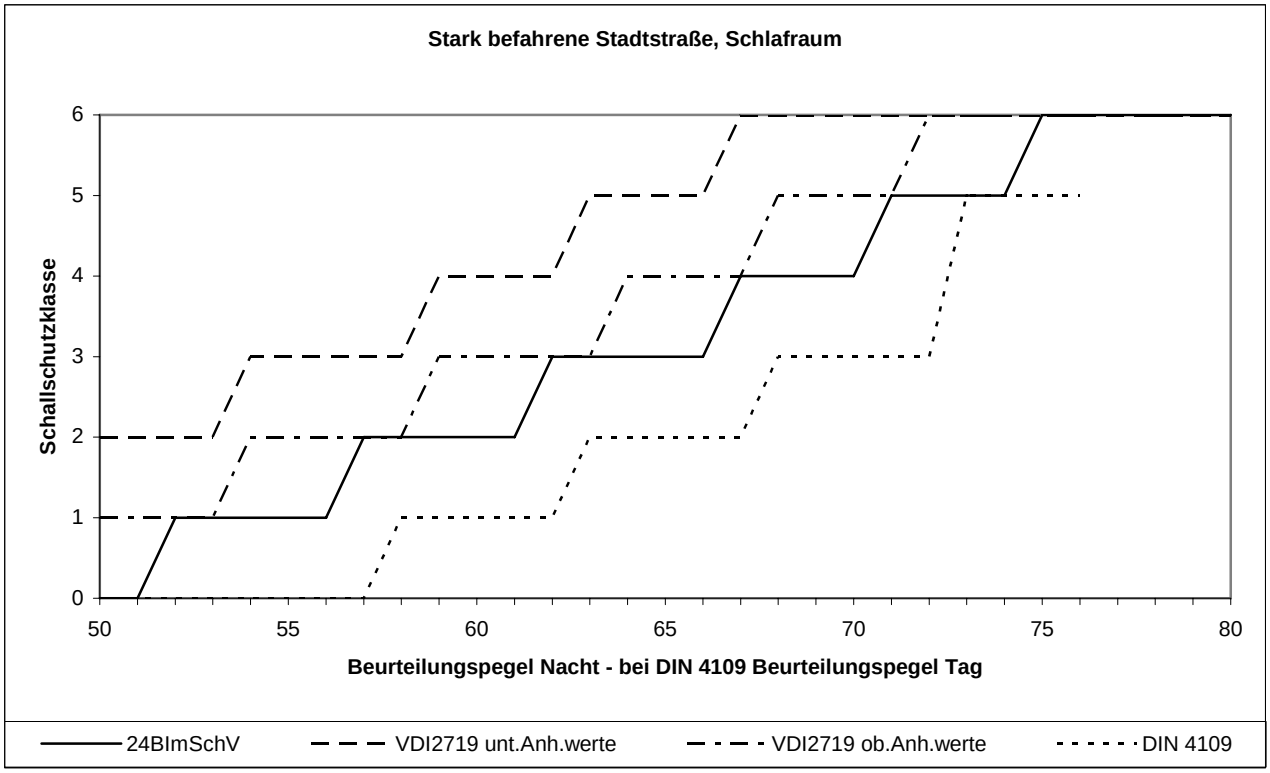

Abb. 4:

Stark befahrene Ortsdurchfahrt, Schlafraum im allgemeinen Wohngebiet (WA). Bei der VDI 2719 wurde die lauteste Nachtstunde zugrundegelegt.

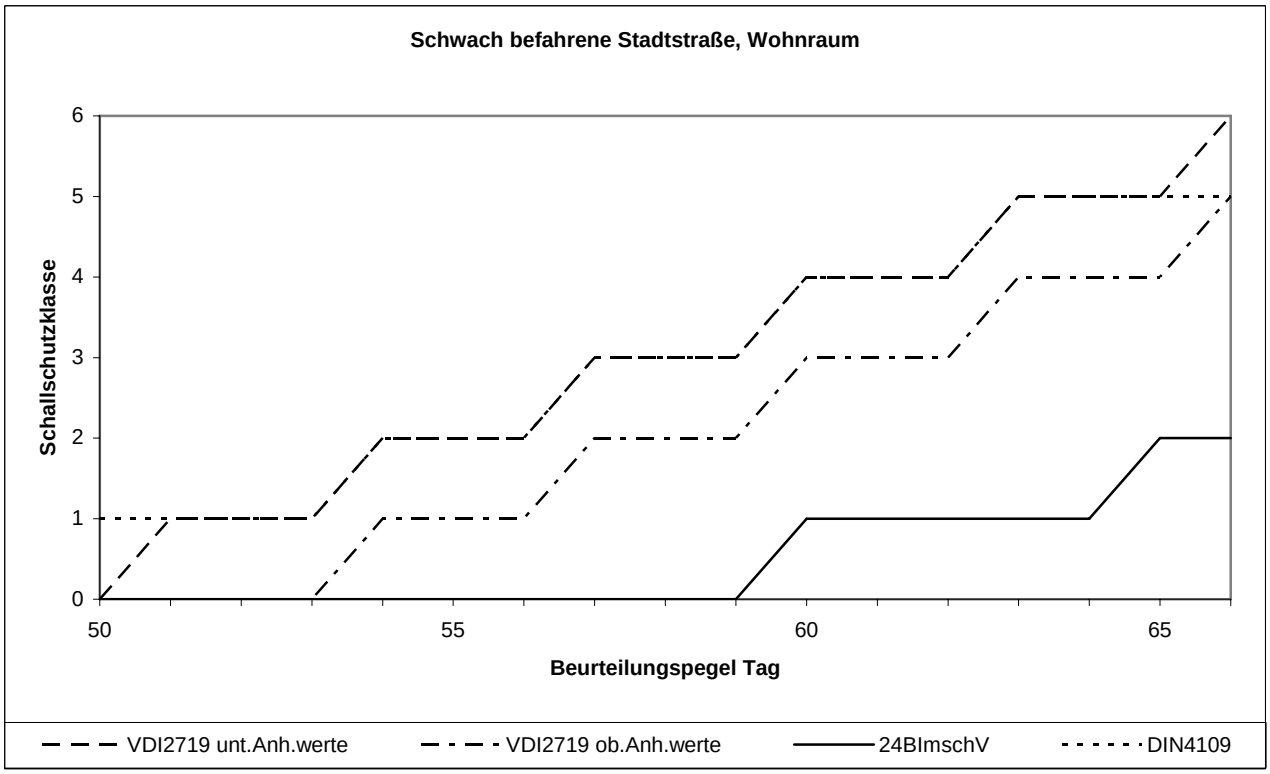

Abb. 5:

Schwach befahrene Ortsdurchfahrt, Wohnraum. Bei der VDI 2719 und der DIN 4109 wurden der Berechnung die Maximalpegel zugrundegelegt.

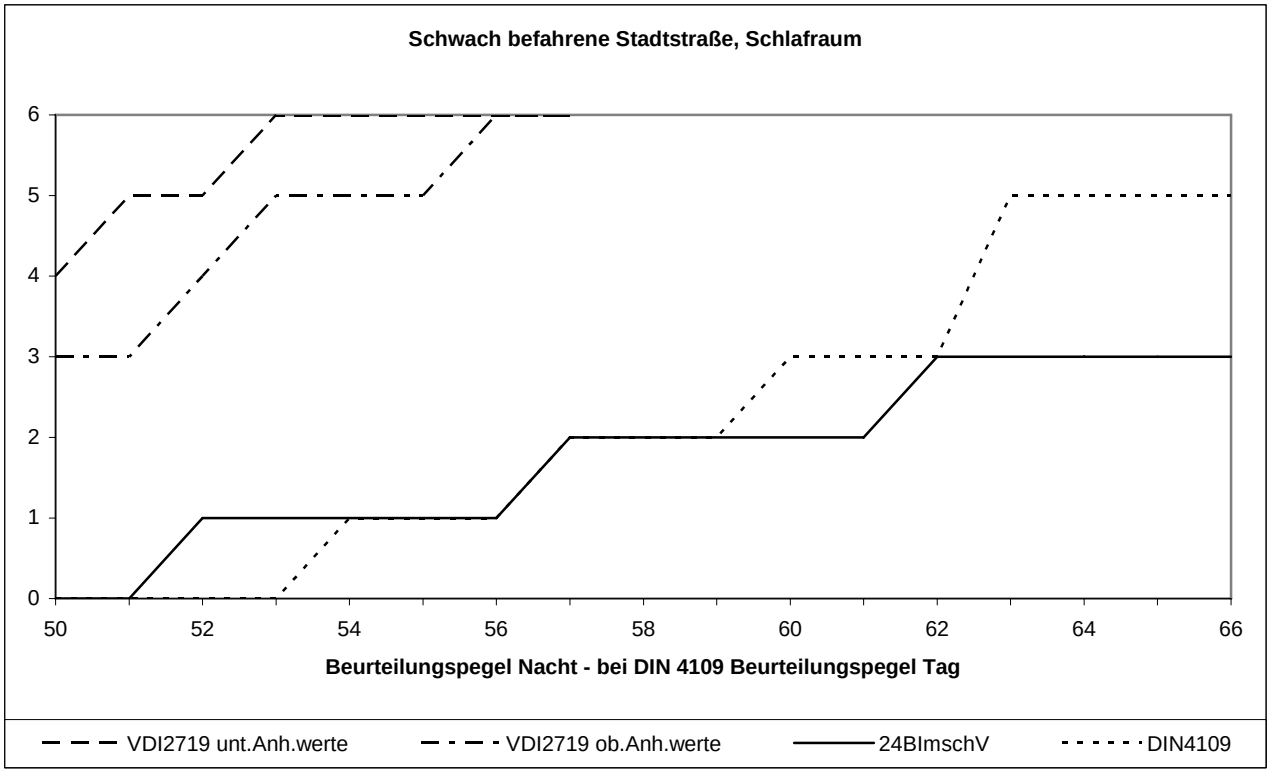

Abb. 6:

Schwach befahrene Ortsdurchfahrt, Schlafraum im allgemeinen Wohngebiet (WA). Bei der VDI 2719 und der DIN 4109 wurden der Berechnung die Maximalpegel zugrundegelegt.

5.3 Allgemeines Wohngebiet an einer schwach befahrenen Ortsdurchfahrt

Bei einer schwach befahrenen Straße kann es vorkommen, dass die „mittleren Maximalpegel“ um mehr als 10 dB(A) über den Mittelungspegeln liegen. Dann können bei den Regelwerken VDI 2719 und DIN 4109 auch die Maximalpegel (Vorbeifahrtpegel) berücksichtigt werden. Dies soll hier am Beispiel einer typischen, schwach befahrenen Ortsdurchfahrt gezeigt werden.

Eine Rechenmethode zur Ermittlung von Maximalpegeln bzw. Vorbeifahrtpegeln bei einer Prognoseberechnung ist in den genannten Regelwerken nicht angegeben. Man kann jedoch folgendermaßen vorgehen: Ein vorbeifahrendes Fahrzeug wird als Punktschallquelle betrachtet. Wenn man dessen Schalleistungspegel kennt (z.B. aus gemessenen Vorbeifahrtpegeln), kann man mit einer Ausbreitungsrechnung nach VDI 2714 [21] oder nach DIN/ISO 9613-2 [22] den bei einer Vorbeifahrt an einem Immissionsort auftretenden Maximalpegel (der als Näherung für den in der DIN 4109 genannten L_1-Pegel bzw. für den „mittleren Maximalpegel der VDI 2719 genommen wird) in Abhängigkeit vom Abstand von der Straße berechnen. Diesen vergleicht man dann mit dem nach dem Verfahren „lange gerade Straße“ der RLS-90 berechneten Mittelungspegel und kann so feststellen, ob die Bedingung der VDI 2719 bzw. DIN 4109 (Vorbeifahrtpegel um mindestens 10 dB höher als der Mittelungspegel) zutrifft, d.h. ob eine Berücksichtigung der Maximalpegel erforderlich ist.

In unserem Beispiel wurden folgende Eingangsgrößen für eine typische, schwach belastete Stadtstraße angesetzt: DTV = 3600 Kfz/24 h, Lkw-Anteil = 10 % tags bzw. 3 % nachts, zulässige Höchstgeschwindigkeit = 50 km/h, Fahrbahnart: nicht geriffelter Gußasphalt. Daraus resultiert nach RLS-90 ein Emissionspegel $L_{m,E}$ (Mittelungspegel in 25 m Abstand und 3,5 m Höhe) von 57 dB(A)/46 dB(A) (tags/nachts).

Die maximalen Vorbeifahrtpegel werden von einem schweren Lkw verursacht (typischer Schalleistungspegel: 110 dB(A)). Der numerische Vergleich zwischen den aus dem Emissionspegel berechneten Mittelungspegel in Anhängigkeit vom Abstand und den mit der VDI 2714 (unter Annahme einer mittleren Höhe h_m von 2,25 m) berechneten Vorbeifahrtpegeln ergibt, dass für dieses Beispiel die Maximalpegel am Tag für Abstände bis zu 105 m (dies entspricht Mittelungspegeln von mehr als 48 dB(A)) und in der Nacht für

Abstände bis zu mehr als 1000 m (also praktisch für alle relevanten Pegel) um mehr als 10 dB(A) über den Mittelungspegeln liegen.

Damit müssen in diesem Beispiel die Maximalpegel am Tag bei Beurteilungspegeln über 48 dB(A) und in der Nacht generell zugrundegelegt werden, d.h. für den „maßgeblichen Außenlärmpegel“ muß bei der Ermittlung der Schallschutzfensterklassen nach DIN 4109 bzw. VDI 2719 der um 10 dB(A) verringerte Vorbeifahrtpegel zugrundegelegt werden. Dies führt zu den in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten Schallschutzklassen. Beurteilungspegel über 70 dB(A) tags bzw. 60 dB(A) nachts wurden in den Abbildungen nicht berücksichtigt, da diese in der Praxis bei „gering belasteten Stadtstraßen“ nicht vorkommen (ein Beurteilungspegel von 70 dB(A) tags tritt bei unserem Beispiel in einem Abstand von 2 m von der Fahrbahnmitte auf).

Der Vergleich der Abbildungen 5 und 6 mit den Abbildungen 3 und 4 zeigt, dass die DIN 4109 in unserem Anwendungsfall für die Betroffenen durch die Maximalpegelberücksichtigung „um 2 bis 8 dB günstiger“ ist, als eine Rechnung mit Mittelungspegeln. Es werden also um bis zu zwei Klassen bessere Fenster errechnet, beim Schlafraum ergeben sich ab 63 dB(A) sogar um 3 Klassen bessere Schallschutzfenster.

Mit der VDI 2719 errechnet man im Vergleich zu einer Berechnung mit Mittelungspegeln bei Wohnräumen um bis zu zwei, bei Schlafräumen sogar um bis zu vier Klassen bessere Fenster. Nachts führt beispielsweise die Maximalpegelberücksichtigung schon bei einem Beurteilungspegel (Mittelungspegel) von 50 dB(A) zur Schallschutzklasse 4 bei unteren Anhaltswerten bzw. 3 bei oberen Anhaltswerten. Bei einer Berechnung mit Mittelungspegeln erhält man dagegen nur die Klassen 1 bzw. 0 (s. Abb. 3 und 4). Der Grund für diesen Unterschied ist die große Differenz zwischen Mittelungspegel und Maximalpegel in geringen Abständen von der Straße: Ein Mittelungspegel von 50 dB(A) nachts errechnet sich in unserem Beispiel in einem Abstand von 14 m. Dort tritt bei einer Lkw-Vorbeifahrt ein Maximalpegel von 79 dB(A) auf, d.h. in die Rechnung geht ein „maßgeblicher Außenlärmpegel“ von 69 dB(A) ein, der zu den genannten Schallschutzklassen führt. Bei der 24. BImSchV bestehen keine Unterschiede zum Anwendungsfall „Stark befahrene Stadtstraße“.

Ein Vergleich der Regelwerke untereinander zeigt, dass beim Wohnraum die DIN 4109 und die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten fast identische Schallschutzfensterklassen ergeben, gefolgt von der VDI 2719 mit den oberen Anhaltswerten und der 24. BImSchV. Beim Schlafraum ergeben sich unter der Annahme einer 10 dB(A)-Differenz zwischen den Beurteilungspegeln Tag und Nacht nach der strengeren VDI 2719 um ein bis zwei Klassen bessere Fenster als bei der DIN 4109.

5.4 Allgemeines Wohngebiet an einer DB-Hauptabfuhrstrecke

Bei Wohngebäuden im Nahbereich von Schienenstrecken (bis etwa 50 m Abstand) kann außer dem Luftschall auch noch der sogenannte „sekundäre Luftschall“ auftreten. Dieser entsteht dadurch, daß die von den Zügen erzeugten Erschütterungen über die Gleise und das Schotterbett in den Untergrund eingeleitet und auf das Gebäude übertragen werden. Dessen Decken und Wände können dann auch auf der gleisabgewandten Gebäudeseite überwiegend tieffrequente Geräusche abstrahlen, die sich durch Schallschutzfenster naturgemäß nicht vermindern lassen. Deshalb wird erfahrungsgemäß nachts der Immissionsrichtwert "Innen" von 25 dB(A) der TA Lärm [23] im Nahbereich von Schienenwegen (näher als etwa 40 m) überschritten.

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen die errechneten Schallschutzklassen für einen Wohnraum und einen Schlafraum in einem allgemeinen Wohngebiet an einer DB-Hauptabfuhrstrecke. An diesen Strecken tritt nachts erfahrungsgemäß in keiner Stunde ein deutlich höherer Mittelungspegel auf als während der gesamten Nachtzeit. Außerdem liegen die mittleren Maximalpegel aufgrund der hohen Zugzahlen i.d.R. nicht um mindestens 10 dB(A) über dem Mittelungspegel. Aus diesen Gründen wurde bei der Berechnung nach VDI 2719 vom Beurteilungspegel für die gesamte Nachtzeit ausgegangen. Bei der Berechnung wurde angenommen, daß tags und nachts überwiegend Güterzüge verkehren. Die Korrektursummanden für die Verkehrsart betragen daher K = 3 dB(A) bei der VDI 2719 und E = 2 dB(A) bei der 24. BImSchV. Die Kurven für die 24. BImSchV sind also gegenüber den Abbildungen 1 und 2 um 1 dB(A)

nach rechts verschoben. Bei der VDI 2719 sind die Kurven bei der Hauptabfuhrstrecke gegenüber der Autobahn tags identisch und nachts um 3 dB(A) ungünstiger, da bei der Bahnstrecke keine lauteste Nachtstunde angesetzt wurde.

Für den *Wohnraum* errechnet man mit der DIN 4109 sowie der VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten die höchste Schallschutzklasse. Jeweils eine Klasse schlechter sind die VDI 2719 mit den oberen Anhaltswerten und die Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV). Beim *Schlafraum* stellt hier die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten für die Betroffenen das günstigste Regelwerk dar (vgl. Abb. 8).

Da erfahrungsgemäß die Beurteilungspegel Tag und Nacht an Schienenwegen in etwa gleich hoch sind, liefert die DIN 4109 hier relativ niedrige Ergebnisse, bzw. führt zu einer Unterdimensionierung für den Beurteilungszeitraum Nacht. Die Ursache hierfür liegt in der bereits erwähnten Annahme der 10 dB(A)-Differenz zwischen Tag- und Nachtbeurteilungspegel. Um der 10 dB(A) höheren Schutzbedürftigkeit des Beurteilungszeitraumes Nacht gerecht zu werden, kann analog zu der in Punkt 4 beschriebenen Vorgehensweise der ursprüngliche Lärmpegelbereich um 2 Stufen nach oben gesetzt werden. Die auf der Basis des neuen Lärmpegelbereichs ermittelten Schallschutzklassen liegen nun im Mittel ebenfalls um 2 Klassen höher. Ein Vergleich mit den anderen Regelwerken zeigt, dass die modifizierte Anwendung der DIN 4109 nun die gleichen bzw. teilweise höhere Schallschutzklassen als die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten liefert, und somit zu Gunsten der Betroffenen dimensioniert. Mit der 24. BImSchV ergibt sich für beide Räume die niedrigste Schallschutzklasse.

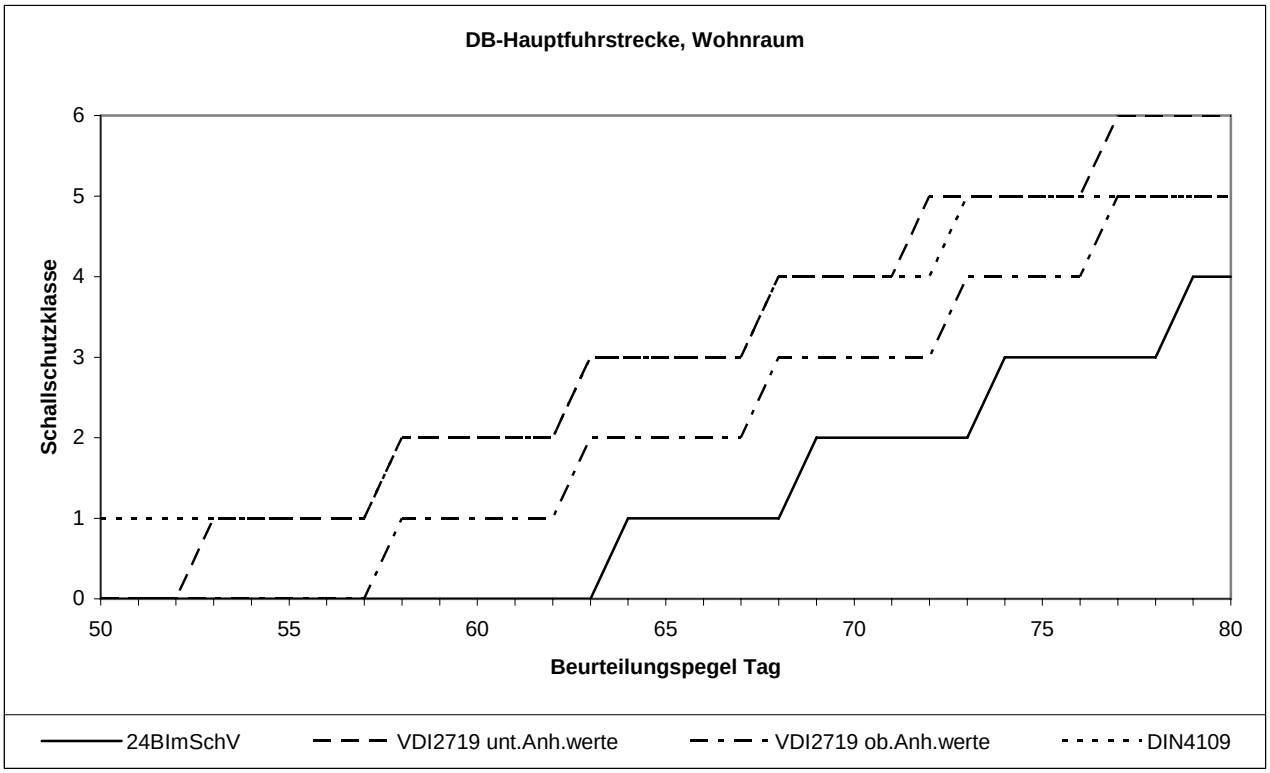

Abb. 7:

Vergleich der mit den einzelnen Regelwerken errechneten Schallschutzklassen für einen Wohnraum in einem allgemeinen Wohngebiet (WA) an einer DB-Hauptabfuhrstrecke.

Bei Neubaumaßnahmen und wesentlichen Änderungen von Bahnstrecken im Sinne der 16. BImSchV dimensioniert die Deutsche Bahn AG die aktiven Lärmschutzmaßnahmen i.d.R. auf die Einhaltung der Taggrenzwerte der 16. BImSchV hin. Da bei Bahnstrecken die Schallemissionen wegen des nächtlichen Güterzugverkehrs tags und nachts in etwa gleich hoch sind oder vielfach nachts sogar um 1 bis 2 dB höher sind als tags, verbleiben nachts Überschreitungen um 10 bis 12 dB(A), wenn der Taggrenzwert gerade eingehalten ist. Damit liegen nachts die Beurteilungspegel bei rund 60 dB(A), an nahegelegenen Häusern sogar noch wesentlich höher, also im Bereich der Gesundheitsgefährdung. Laut Abb. 8 errechnet die 24. BImSchV für diese Pegel gerade die Schallschutzklasse 1. Geht man davon aus, daß die vorhandenen Fenster aus Gründen des Wärmeschutzes in der Regel die Anforderungen der Klasse 2 erfüllen, so besteht zwar wegen der Überschreitung des Nacht-Immissionsgrenzwertes häufig ein Schallschutzanspruch dem Grunde nach, ein tatsächlicher Anspruch auf den Einbau von Fenstern mit der Schallschutzklasse 3 und höher erst bei Beurteilungspegeln von mehr als 74 dB(A) tags und 67 dB(A) nachts. Es bleibt in der Regel lediglich ein Anspruch auf Lüftungseinrichtungen. Die genannten Pegel liegen weit im gesundheitsgefährdenden und damit eigentumsrechtlich kritischen Bereich (über 60 dB(A) nachts, vgl. z.B. [24]).

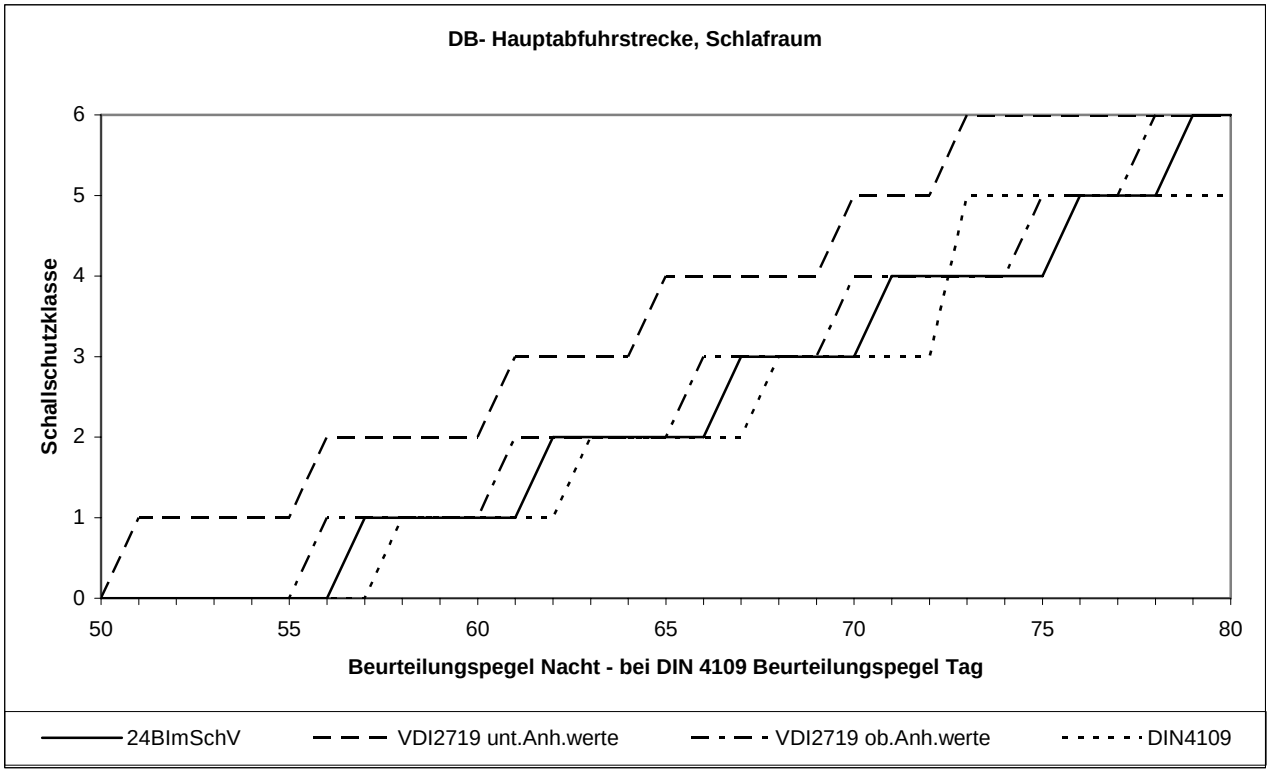

Abb. 8.1:

Vergleich der mit den einzelnen Regelwerken errechneten Schallschutzklassen für einen Schlafraum in einem allgemeinen Wohngebiet (WA) an einer DB-Hauptabfuhrstrecke.

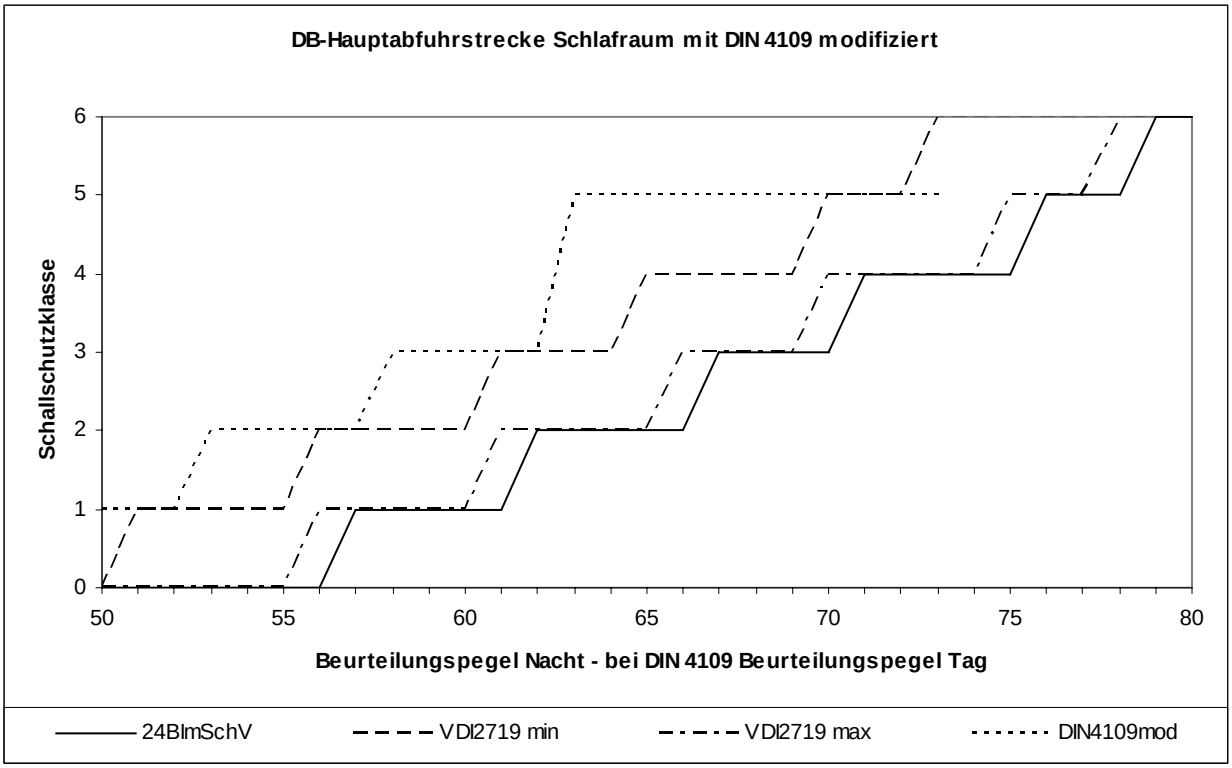

Abb. 8.2:

Vergleich der mit den einzelnen Regelwerken errechneten Schallschutzklassen für einen Schlafraum in einem allgemeinen Wohngebiet (WA) an einer DB-Hauptabfuhrstrecke mit modifizierter DIN 4109

6. Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Die Ermittlung der Schallschutzfensterklassen nach den Regelwerken DIN 4109, VDI 2719 und der Verkehrslärm-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV) führt bei gleichen Immissionsverhältnissen zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen. Je nach angewandtem Regelwerk werden um bis zu 4 (!) unterschiedliche Schallschutzfensterklassen ermittelt. Dies zeigt deutlich, dass den Betroffenen je nach Anwendungsfall (Neubau oder wesentliche Änderung eines Verkehrswegs, Baurecht) eine recht unterschiedliche Lärmbelastung zugemutet wird.

Qualitativ kann man wie folgt zusammenfassen:

Bei der Bemessung mit Mittelungspegeln ergeben sich für den Wohnraum bei allen untersuchten Verkehrslärmsituationen die günstigsten Schallschutzfensterklassen durch die Anwendung der VDI-Richtlinie 2719 mit den unteren Anhaltswerten von 25 dB(A) nachts und 30 dB(A) tags sowie mit der DIN 4109. Meist liefern sie identische Werte. Lediglich im Fall „stark befahrene Stadtstraße“ liefert die VDI 2719 etwas höhere Klassen. Mit den oberen Anhaltswerten 30 dB(A) nachts und 35 dB(A) tags der VDI 2719 erhält man im Vergleich dazu um eine Stufe niedrigere Fensterklassen. Ein ähnliches Bild ergibt sich auch beim Schlafraum, nur dass die DIN 4109 bei zunehmender Angleichung der Tag- und Nachtbeurteilungspegel zu niedrigeren Klassen führt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auch für überwiegend nachts genutzte Räume der Beurteilungspegel Tag ausschlaggebend ist, und bei der strikten Anwendung der DIN 4109 die erhöhte Schutzbedürftigkeit der Nacht nicht berücksichtigt wird. Das LfU hat hierfür eine modifizierte Vorgehensweise vorgestellt, die bei der Dimensionierung dieser Fenster auch den Beurteilungspegel Nacht angemessen berücksichtigt. Gemäß diesem Verfahren zählt die DIN 4109 zusammen mit der VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten zu den für die Betroffenen günstigsten Regelwerken.

Bei der Berücksichtigung von Maximalpegeln nach VDI 2719 und nach DIN 4109 ergeben sich im Nahbereich um bis zu vier Stufen höhere Fensterklassen als bei der Bemessung aufgrund von Mittelungspegeln. Die Verwendung von Maximalpegeln, die ab einer gewissen Höhe zum Aufwachen führen, ist nach

der 24. BImSchV nicht möglich. Im Nahbereich von Verkehrswegen mit (relativ) niedrigen Mittelungspegeln ergeben sich jedoch vor allem in der Nacht nur bei einer Berücksichtigung der Maximalpegel wirksame Schallschutzfensterklassen gegen störende Vorbeifahrtpegel von Zügen oder Lastkraftwagen.

Die 24. BImSchV, die erst nach der VDI 2719 und nach der DIN 4109 in Kraft getreten und beim Bau und bei der wesentlichen Änderung von Verkehrswegen verbindlich vorgeschrieben ist, ergibt in fast allen Anwendungsfällen, die niedrigsten Schallschutzfensterklassen. Sie ist z.B. deutlich schlechter als die DIN 4109, die in vielen Bundesländern baurechtlich eingeführt ist und die Anforderungen an den Schallschutz für private Bauherren beim Hausbau festschreibt. Aus der Sicht des Schallschutzes und auch unter dem Gesichtspunkt, unnötige Vorschriften zu vermeiden, ist die 24. BImSchV entbehrlich, zumal es dem Gleichheitsgrundsatz widerspricht, wenn der Staat dem Bürger beim Neubau oder bei der wesentlichen Änderung eines Verkehrsweges (24. BImSchV) einen um 10 bis 15 dB verminderten Anspruch auf Schallschutz zumutet als er von ihm beim Bau von Wohnhäusern an bestehenden Verkehrswegen verlangt. Ein weiterer Mangel der 24. BImSchV ist, daß sie nicht die Gesamtlärmpegel zugrundelegt, wie es Gesichtspunkte der Lärmwirkung erfordern, sondern nur die Teilpegel aus neuen oder (akustisch) wesentlich geänderten Verkehrswegen. Dies kann dazu führen, daß tatsächlich unzureichende Schallschutzfensterklassen ermittelt und Fehlinvestitionen getätigt werden.

Aufgrund der Anforderungen nach der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparenden Anlagentechnik bei Gebäuden ((Energieeinsparverordnung –EnEV) [25] ist bei neuen Gebäuden davon auszugehen, dass bereits Fenster mindestens der Schallschutzklasse 2 eingebaut sind, so dass sich ein *tatsächlicher* Anspruch auf den Einbau von Schallschutzfenstern erst ergeben kann, wenn aus Schallschutzgründen mindestens Klasse 3 erforderlich ist. In Tab. 8 sind die Beurteilungspegel angegeben, ab denen bei den einzelnen Regelwerken ein Anspruch auf Fensterklasse 3 besteht (jeweils Wohn-/Schlafraum).

Die Pegel für die Anspruchsvoraussetzung nach der 24. BImSchV treten bei einer Autobahn mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) von 30 000 Kfz/24 h, einem Lkw-Anteil von 25 % tags bzw. 45 % nachts und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h erst bei Abständen von weniger als etwa 20 m (Wohnraum) bzw. 30 m (Schlafraum) auf.

Tabelle 8:
Mindestpegel für einen Anspruch auf Fenster der Schallschutzklasse 3 für einen Schlafraum.

Beurteilungspegel dB(A)	**Autobahn**	**stark befahrene Ortsdurchfahrt**	**schwach befahrene Ortsdurchfahrt**	**DB-Hauptabfuhrstrecke**
DIN 4109	68 tags	68 tags	60 tags	68 tags
DIN 4109 modifiziert	L_{Tag}-L_{Nacht} ≈ 5 dB(A) 63 tags	L_{Tag}-L_{Nacht} ≈ 10 dB(A) 68 tags	L_{Tag}-L_{Nacht} ≈ 10 dB(A) 60 tags	L_{Tag}-L_{Nacht} ≈ 0 dB(A) 58 tags
VDI 2719, unterer Anhaltswert	57 nachts	54 nachts	< 50 nachts *)	61 nachts
VDI 2719, oberer Anhaltswert	63 nachts	59 nachts	<50 nachts *)	66 nachts
24. BImSchV	66 nachts	62 nachts	> 62 nachts	67 nachts
*) Diese Pegel kommen in diesem Fall in der Praxis selten vor.				

Bei einer stark befahrenen Stadtstraße mit einer Verkehrsbelastung von 20 000 Kfz/24h, einem Lkw-Anteil von 20 % tags und 10 % nachts, sowie einer zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h betragen die entsprechenden Abstände 15 m (Wohnraum) bzw. 10 m (Schlafraum). In den genannten geringen Abständen liegen jedoch in der Regel bei Autobahnen keine, bei übrigen Straßen nur wenige Wohnhäuser.

Die Pegel liegen in solchen Fällen häufig weit im gesundheitsgefährdenden und eigentumsrechtlich kritischen Bereich (über 60 dB(A) nachts, vgl. z.B. [24]). In der Praxis werden also beim Neubau oder bei der wesentlichen Änderung von Verkehrswegen nach der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV nur wenige Betroffene tatsächlich neue Lärmschutzfenster erhalten; es bleibt dann lediglich ein Anspruch auf Lüftungseinrichtungen für Schlafräume und für „schutzbedürftige Räume mit sauerstoffverbrauchender Energiequelle“ [4].

Wenn sich bei der Anwendung der 16. BImSchV bereits bei der Berücksichtigung von Teilpegeln aus den planfestzustellenden Verkehrswegen ein Anspruch auf Schallschutzfenster ergibt, so sollten aus fachlicher Sicht die Hauseigentümer zumindest darauf hingewiesen werden, daß sie für einen ausreichenden Schutz für lärmempfindliche Personen Fenster mit einer z.B. um zwei Stufen höheren Schallschutzklasse einbauen sollten als mit der 24. BImSchV ermittelt. Die Mehrkosten müßten sie dann aufgrund der Rechtslage allerdings selbst tragen

Die DIN 4109 bietet sich nur zur Bestimmung der Schallschutzfensterklassen von tagsüber genutzten Räumen an. Bei der Anwendung von Schlafzimmerfenstern liefert sie unter Umständen zu niedrige Schallschutzklassen oder es ist eine Modifizierung der Bemessungsgrundlage notwendig.

Aus lärmschutzfachlicher Sicht würde eine einzige Richtlinie genügen, um für den Schutz von Innenräumen ausreichende Schallschutzfensterklassen zu ermitteln. Zur Bemessung von Lärmschutzfenstern am geeignetsten erscheint die VDI 2719, wobei wegen der Angabe einer Spannweite für die Anhaltswerte der Innenschallpegel um bis zu 2 Schallschutzfensterklassen unterschiedliche Ergebnisse auftreten können. Durch die in der Vorbereitung befindliche Neufassung der VDI 2719 soll dieser Mangel durch einheitliche Anhaltswerte der Innenschallpegel für Wohn- und Schlafräume jedoch beseitigt werden. Sie berücksichtigt bei der Bemessung die lauteste Nachtstunde und die Maximalpegel, die bei der Vorbeifahrt insbesondere von Zügen und LKW’s entstehen.

Literatur

[1] VDI 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen" (August 1987) Beuth-Verlag, Berlin.

[2] DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“, November 1989, Beuth-Verlag, Berlin.

[3] Akustik 23, "Schalldämmung von Fenstern bei Schienenverkehrslärm", Ausgabe 1996. Deutsche Bahn AG, Zentralbereich Basis-Technologie ZBT 51, München.

[4] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV) vom 04.02.1997, BGBl.I S.172, zuletzt geändert am 23.09.1997

[5] DIN-EN 12354-3 „Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außengeräusche“, September 2000.

[6] Beiblatt 1 zu DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau - Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren“ (November 1989), Beuth-Verlag, Berlin.

[7] „Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an bestehenden Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes - VLärmSchR 97- “ BMV-Rundschreiben vom 02.06.1997 - StB 15/14.80.13-65/11 Va 97.

[8] Heckl, Müller: Taschenbuch der Technischen Akustik, 2. Auflage 1994, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

[9] Kötz, W.-D.: Zur Berechnung des "maßgeblichen Außenlärmpegels" nach DIN 4109 - Ein klärendes Wort zum "3 dB-Zuschlag", ZfL 43(1996), S.41.

[10] „Zusätzliche technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführungen von Lärmschutzwänden an Straßen“, ZTV-Lsw 88, BMV Allg. Rundschreiben Straßenbau Nr. 8/1988 vom 18. März 1988 - StB 25/14.86.22/1 He 88.

[11] DIN EN ISO 717-1, „Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 1: Luftschalldämmung“, Januar 1997, Beuth-Verlag, Berlin.

[12] DIN EN ISO 140-5, „Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 5: Messung der Luftschalldämmung von Fassadenelementen und Fassaden in Gebäuden“, August 1998, Beuth-Verlag, Berlin.

[13] DIN EN ISO 140-1, „Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung“, März 1998, Beuth-Verlag, Berlin.

[14] DIN 4109, Beiblatt 3, „Berechnung von $R'_{w,R}$ für den Nachweis der Eignung nach DIN 4109 aus Werten des im Labor ermittelten Schalldämm-Maßes R_w“ (Juni 1996), Beuth-Verlag,Berlin.

[15] DIN 18005 Teil 1, „Schallschutz im Städtebau - Berechnungsverfahren“ (Mai 1987), Beuth-Verlag, Berlin (inzwischen ersetzt durch DIN 18005 – 1 „Schallschutz im Städtebau – Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung“, Juli 2002; darin Verweis auf einschlägige Berechnungsvorschriften, u.a. [17], [18], [19]).

[16] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-81, Ausgabe 1981, Bundesminister für Verkehr.

[17] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-90, Ausgabe 1990, Bundesminister für Verkehr.

[18] Information Akustik 03: Richtlinie zur Berechnung der Schallemissionen von Schienenwegen - Schall 03, Ausgabe 1990, Bundesbahn-Zentralamt München.

[19] Information Akustik 04: Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Rangier- und Umschlagbahnhöfen - Akustik 04, Ausgabe 1990, Bundesbahn-Zentralamt München.

[20] DIN 45642-E "Messung von Verkehrsgeräuschen", Entwurf vom März 1997, Beuth-Verlag, Berlin.

[21] VDI 2714 „Schallausbreitung im Freien“, Januar 1988, Beuth-Verlag, Berlin.

[22] DIN/ISO 9613-2 „Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien; Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Oktober 1999, Beuth-Verlag, Berlin.

[23] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm vom 26.08.1998, Gemeinsames Ministerialblatt 1998, S. 501, Abschnitt 6.2.

[24] s. z.B. Urteil des Bayerischen Verwaltungsgerichtshofs Az. 20 B 92.1055 vom 5. März 1996.

[25] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparenden Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung –EnEV) 02.10.2004, BGBl.I, S.3146.

[26] Kröger, W., Hendlmeier, W.: Bemessung von Schallschutzfenstern - ein Vergleich verschiedener Regelwerke, ZfL 41(1994), S.156.

[27] Kühne, R.: Die 24. BImSchV - ein neues Regelwerk, ZfL 44(1997). S.175.

Peter Pelikan und
Stefan Bauer, Tel. (0821) 90 71-5174, stefan.bauer@lfu.bayern.de