

Erschütterungsbeurteilung nach ÖNORM S 9012 im Vergleich mit der internationalen Normung

Peter Steinhauser, Universität Wien

1. EINLEITUNG

Für die Beurteilung von Schienenverkehrserschütterungen ist in Österreich 1996 die ÖNORM S 9012 herausgegeben worden [1]. Der Bedarf hierfür hat sich ergeben, da im Zuge des damals bereits voll angelaufenen Ausbaus des Bahnnetzes zahlreiche Tunnelbauvorhaben in Planung waren, aber für die Bewertung der Zumutbarkeit des durch die Erschütterungsübertragung ausgelösten sekundär abgestrahlten Luftschalls bei den Oberliegern keine allgemein anerkannten Beurteilungsrichtlinien verfügbar waren. Und obwohl DIN 4150-2 in der Ausgabe 1992 bereits Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden in einer sehr umfassenden Weise behandelte, fehlten darin Richtwertangaben für die Erschütterungswirkung von innerstädtischen Schienenverkehrsmitteln und für bestehende Schienenverkehrsstrecken [2]. Die ÖNORM baute auf den bewährten Bewertungsparametern der Bewerteten Schwingstärke K_B und des Abewerteten Sekundärschallpegels auf. Aus heutiger Sicht kann festgestellt werden, dass sich diese Norm im Alltagsgebrauch bewährt hat.

Über den nationalen Bereich hinausgehend hat die Norm Anerkennung erfahren, weil sowohl die Erschütterungen als auch der sekundäre Luftschall von der Norm abgedeckt werden [3]. Hinsichtlich des Sekundärschalls erklärt das damalige BUWAL (nunmehr BAFU) in einem Bericht [4] in dem europäische Normen verglichen werden: „Als fortschrittlichste und den häufigsten Problemen des Bahnverkehrs angepasste Norm gilt in Fachkreisen die ÖNORM S 9012. Sie bewertet neben dem im Lärmschutz üblichen energieäquivalenten Schalldruckpegel L_{eq} auch den Mittelwert der Spitzenpegel jeder Zuggattung mit der Zeitkonstanten „slow“.“ In der Folge ist diese Zeitkonstante in der ISO 14837-1 ebenfalls für die Sekundärschallbeurteilung von Zügen aufgenommen worden.

Den Anlass für die Überarbeitung der ÖNORM bildeten neue Ausgaben der ISO 2631-1 und ISO 2631-2 sowie der VDI 2057-1. Diese ISO Normen besitzen dabei als deutschsprachige Übersetzung auch den Status einer österreichischen Norm. Am auffälligsten war dabei der Wechsel von der Bewerteten Schwingstärke K_B zur frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung. In der Zeitbewertung sieht die ISO nunmehr vom echten Effektivwert als grundlegende Beurteilungsbasis ausgehend, den mit einer Zeitkonstanten arbeitenden exponentiell gleitenden Effektivwert bzw. für stoßhaltige Schwingungen (Scheitelfaktoren größer 9) die Vierte-Potenz-Methode vor. Außerdem sieht die ISO vor, den vektoriellen resultierenden Effektivwert zur Beurteilung zu verwenden, wenn Schwingungen nicht nur in einer einzigen Richtung polarisiert sind. Und schließlich wird in VDI 2057-1 die konsequente formale Angleichung der Schwingungsbeurteilung an den energieäquivalenten Ansatz der Akustik vorgenommen.

Im folgenden werden zunächst die Implementierung dieser Ansätze in die ÖNORM dargestellt und dann die Auswirkungen auf die Beurteilung im Vergleich zur Ausgabe 1996 erörtert.

2. FREQUENZBEWERTUNG NACH ISO 2631-2

Der Zusammenhang zwischen den objektiv messbaren Schwingungsgrößen (Schwingbeschleunigung, Schwinggeschwindigkeit, Schwingweg) und der subjektiven Wahrnehmung wird durch die W_m -bewertete Schwingbeschleunigung nach ISO 2631-2 beschrieben. Die Schwingungsbelastung des Menschen wird durch die Intensität, das Frequenzspektrum und die Einwirkungsrichtung der Erschütterungen bestimmt, weshalb diese drei Parameter die Größe der Belastung bestimmen. Das Ziel ist es, Schwingungswahrnehmungen einer bestimmten

Stärke unabhängig von der Messgröße, Richtung und Frequenz einerseits und der menschlichen Tätigkeit bzw. Einstellung andererseits durch einen einheitlichen Zahlenwert zu beschreiben. An sich besitzt der menschliche Körper in den drei biodynamischen Koordinatenrichtungen eine unterschiedliche Sensitivität für Erschütterungen. Da aber beim Aufenthalt in Wohnungen die Freiheit des Menschen, seine Körperhaltung zu wählen (Stehen, Sitzen, Liegen), nicht eingeengt werden darf, sieht die ISO 2631-2 für diese im Umweltschutz auftretende Problemstellung ein Bewertungsverfahren vor, bei dem alle drei Komponenten eines orthogonalen Koordinatensystems gleiches Gewicht haben.

Nach ON-ISO 2631-2 ist hierbei für die menschliche Erschütterungswahrnehmung durch den ganzen Körper der Frequenzbereich von 1-80 Hz maßgeblich. Für die Messgrößen Schwinggeschwindigkeit und Schwingbeschleunigung gibt die Norm W_m -FrequenzbewertungsfILTER an. Für die Schwinggeschwindigkeitsmessdaten ist in Abbildung 1 das W_m -FrequenzbewertungsfILTER wiedergegeben.

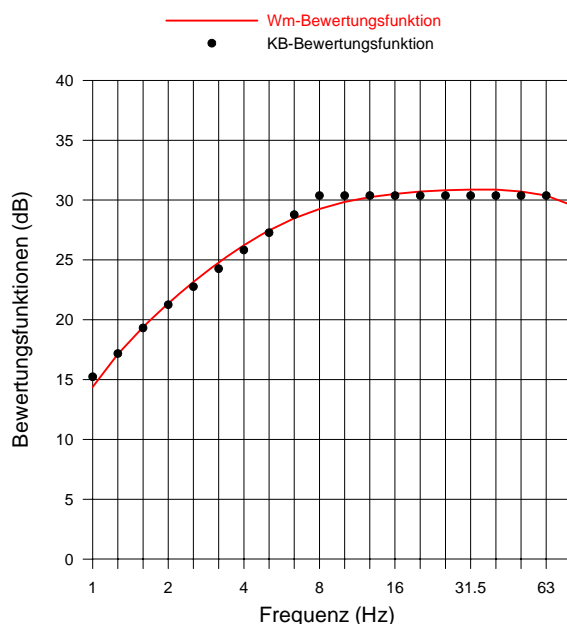


Abbildung 1 Vergleich der W_m -Bewertungsfunktion nach ISO 2631-2 mit der bisherigen K_B -Bewertungsfunktion für Schwinggeschwindigkeitsmessdaten nach ÖNORM S 9012

Zwar hat mit der Ausgabe von ON-ISO 2631-2 (Mai 2007) die W_m -bewertete Schwingbeschleunigung die bisher nach ÖNORM S 9010 festgelegte Bewertete Schwingstärke K als Maß der menschlichen Erschütterungswahrnehmung abgelöst; jedoch handelt es sich hierbei praktisch nur um eine Änderung der Nomenklatur. Wie aus Abbildung 1 ebenfalls ersichtlich ist, unterscheiden sich die frühere K_B -Frequenzbewertungsfunktion im Rahmen der nach ISO 2631-1 zulässigen Messtoleranzen nicht von der nunmehrigen W_m -Frequenzbewertung. (Da die „Ecken“ der vormaligen K_B -Filterfunktion mess- und auswertetechnisch durch einen kurvenförmigen Filterverlauf approximiert werden, kann in der Praxis von identischen Bewertungsfunktionen ausgegangen werden). Die W_m -bewertete Schwingbeschleunigung ist gemäß ÖNORM S 9012 lediglich zahlenmäßig um den Faktor $1/28$ von der bisher verwendeten Bewerteten Schwingstärke $K_B = 0,1$ verschieden: einer Bewerteten Schwingstärke $K_B = 0,1$ entspricht somit eine W_m -bewertete Schwingbeschleunigung $a_w = 3,57 \text{ mm/s}^2$.

Da aber ÖNORM S 9012 bis Jänner 2010 in der alten Ausgabe noch die Bezeichnung „Bewertete Schwingstärke K_B “ verwendet hat, wie dies andere mitteleuropäischen Beurteilungsnormen noch immer tun, wird der Zusammenhang zwischen der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung, der Bewerteten Schwingstärke und der subjektiven Wahrnehmung in Tabelle 1 in einer empirisch bestimmten Abstufung der ÖNORM angegeben.

Tabelle 1 Zusammenhang zwischen W_m -bewerteter Schwingbeschleunigung, Bewerteter Schwingstärke K und Wahrnehmung

W_m -bewertete Schwingbeschleunigung in mm/s ²	Bewertete Schwingstärke K	Beschreibung der Wahrnehmung
----- 3,57 -----	----- 0,1 -----	nicht spürbar „Fühlschwelle“ -----
----- 7,14 -----	----- 0,2 -----	gerade spürbar -----
----- 14,3 -----	----- 0,4 -----	schwach spürbar -----
----- 28,6 -----	----- 0,8 -----	spürbar „Weckschwelle“ -----
----- 57,1 -----	----- 1,6 -----	deutlich spürbar -----
----- 113 -----	----- 3,15 -----	stark spürbar -----
----- 228 -----	----- 6,3 -----	-----
----- 446 -----	----- 12,5 -----	-----
----- 893 -----	----- 25 -----	-----
----- 1790 -----	----- 50 -----	sehr stark spürbar
----- 3570 -----	----- 100 -----	-----

Die sogenannte Fühlschwelle wird in der Norm nicht definiert, da die Erschütterungsintensität, die für die beginnende Wahrnehmbarkeit von Erschütterungen erforderlich ist, wesentlich von der Aufmerksamkeit der Betroffenen abhängt. Nur bei gespannter Aufmerksamkeit wird eine Erschütterung der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung 3,57 mm/s² tatsächlich wahrgenommen werden können. Jede Ablenkung (Zuhören, Lesen etc.) vermindert die Wahrnehmbarkeit von Erschütterungen bereits beträchtlich und eigene Aktivitäten (Reden, Essen etc.) noch mehr. Dementsprechend kann die Fühlschwelle nicht als Schwellwert sondern nur als Schwellenband angegeben werden, das von mehreren Faktoren beeinflusst wird: häufig wird die W_m -bewertete Schwingbeschleunigung a_w dabei im Bereich von $a_w=10-20$ mm/s² liegen, wie dies auch aus ISO 2631-1, Anhang C ersichtlich ist.

Wie einschlägige Laborversuche [5] zeigen, kann der Mensch verschieden starke Erschütterungsimmissionen erst dann unterscheiden, wenn sich ihre Stärke um 25% ändert; in Dezibel ausgedrückt ergibt dies ein Auflösungsvermögen des Menschen für unterschiedliche Erschütterungsimmissionen von ± 2 dB_v, das somit demjenigen für Schallimmissionen recht ähnlich ist. Daraus ergibt sich, dass der Mensch erst eine Verdoppelung (Halbierung) der Immission als wesentliche Qualitätsveränderung empfindet, was er durch eine unterschiedliche Wahrnehmungsbeschreibung ausdrückt. Dies kommt auch in der Normabstufung zum Ausdruck (vergl. Tabelle 1).

Da die Resonanzfrequenzen der verschiedenen Körperteile des Menschen im Bereich von etwa 1-70 Hz liegen [6] werden niedere Frequenzen stärker wahrgenommen, als es einer Proportionalität zur Anregungskraft entspräche. Es ergibt sich im Frequenzbereich von 8-80 Hz vielmehr eine Schwinggeschwindigkeitsproportionale und somit impulsproportionale Wahrnehmung (siehe Abbildung 1).

Gemäß ÖNORM S 9012 sind zur Ermittlung der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung der menschlichen Wahrnehmung Schwingbeschleunigungs- und Schwinggeschwindigkeits-Messsysteme gleichwertig verwendbar. Die ÖNORM ISO 2631-2 gibt für beide Messgrößen die Frequenzbewertungsfunktion an.

Da aber die Schwingungswahrnehmung des Menschen im Frequenzbereich von 8 Hz bis 80 Hz der Schwinggeschwindigkeit folgt, sind bei Schwinggeschwindigkeitsmessungen auf Grund der geringeren Anpassungen durch die Filter auch kleinere Messfehler gegeben, weshalb die Norm Schwinggeschwindigkeitsmessungen empfiehlt.

3. ZEITBEWERTUNG

Die Ausgabe 1996 der ÖNORM S 9012 ist von dem Umstand ausgegangen, dass der Mensch infolge seiner Körpermasse und der sich daraus ergebenden Massenträgheit keine Einzelschwingungen wahrnehmungsmäßig auflösen kann, sondern lediglich einen mittleren Effektivwert oder Pegel über ein Zeitintervall wahrnimmt. Diese Reaktionszeit des Wahrnehmungsvermögens, die auch als Erinnerungsvermögen bezeichnet wird, hängt nach den grundlegenden Untersuchungen von Dieckmann [7, 8] von der Resonanzüberhöhung des menschlichen Körpers bei Schwingungsanregung ab. Diese Überhöhung erreicht kaum mehr als den Faktor 1.7. Dementsprechend wird der Betrag von 30% der kritischen Dämpfung erreicht, was bedeutet, dass angeregte Körperschwingungen verhältnismäßig rasch abklingen. Trotzdem ist das Reaktionsverhalten des Menschen auf Erschütterungen deutlich langsamer, als dies bei akustischen Schwingungen im Ohr der Fall ist. Die Untersuchungen [9] haben ein Wahrnehmungs- oder Erinnerungsvermögen von knapp einer Sekunde ergeben, das sich bei ganz niedrigen Frequenzen ($f < 4$ Hz) sogar noch verlängert.

Von der maßgeblichen Untergrenze 1 Hz des spürbaren Frequenzbandes ausgehend, wurde in ÖNORM S 9012 die kürzestmögliche Integrationszeit $T = 1$ s gewählt, die zwar eine korrekte gleitende Effektivwertberechnung gestattet, aber den menschlichen Erinnerungsverlust mit der Zeit nicht erfassen kann. Hierzu dient in der ISO die exponentielle Effektivwertermittlung, wofür die Zeitkonstante $\tau = 1$ s empfohlen wird.

Diese Zeitkonstante $\tau = 1$ s ist gleichzeitig die kürzestmögliche, die eine korrekte Effektivwertberechnung für eine 1 Hz-Schwingung ermöglicht, wie Abbildung 2 zeigt. Die Anwendung der in der Akustik üblichen „fast“-Zeitbewertung mit $\tau = 0,125$ s führt zu einem kräftig oszillierenden Pegel. Während bei der tiefsten hörbaren Frequenz ($f = 16$ Hz) die Zeitkonstante 0,125 s immer noch zwei volle Schwingungsperioden umfasst, sind es bei der tiefsten spürbaren Frequenz von 1 Hz gerade noch ein Achtel einer Schwingungsperiode, weshalb die Effektivwertbildung keine Mittelung mehr bewirkt. Dieser stark schwankende Pegelverlauf entspricht in keiner Weise der menschlichen Wahrnehmung und bewirkt rechnerisch um rund 25% überhöhte Wahrnehmungsmaxima. Dieses Problem tritt insbesondere im Frequenzbereich von 1-8 Hz auf, weshalb die Anwendung von DIN 4150-2, die die „fast“-Bewertung verwendet, auf dominant niederfrequente Erschütterungen ($f < 12$ Hz) aus signalanalytischen Gründen zu beträchtlichen Fehlern führt und daher zu vermeiden ist.

Abbildung 2 zeigt die Wirkung der exponentiellen Effektivwertberechnung mit der Zeitkonstanten $\tau = 1$ s und $T = 0,125$ s sowie eines gleitenden Effektivwerts mit der Integrationszeit $T = 1$ s. Während letzterer die 1 Hz-Schwingung vollständig glättet, ergibt die exponentielle Berechnung mit $T = 0,125$ s den bereits genannten Effekt und mit $\tau = 1$ s einen weitestgehend ausgeglichenen Effektivwertverlauf, der nur wenig um den gleitenden Effektivwert schwankt. Diese Schwankungen sind in Hinblick auf die begrenzte Messgenauigkeit und das menschliche Auflösungsvermögen von Erschütterungen [5] vernachlässigbar klein. ÖNORM S 9012 hat aus diesem Grund die von der ISO empfohlene Zeitkonstante $\tau = 1$ s übernommen.

In Hinblick auf das Ziel der Norm, störende Belästigungen auf ein zumutbares Ausmaß zu begrenzen, ist das Argument, die Anwendung einer Konstanten $T = 0,125$ s läge im Sinne einer

Prävention von Gesundheitsgefährdungen, nicht stichhaltig. Störend werden im Wohnbereich bereits Erschütterungen empfunden, die noch im Bereich des Fühlschwellenbandes liegen und somit W_m -bewertete Schwingbeschleunigungsspitzen von $a_{wmax} = 3,6-20 \text{ mm/s}^2$ besitzen. Selbst eine Annäherung an die Gesundheits-Grenzwerte der EU-Richtlinie 2002/44/EG kann daher von vornherein ausgeschlossen werden.

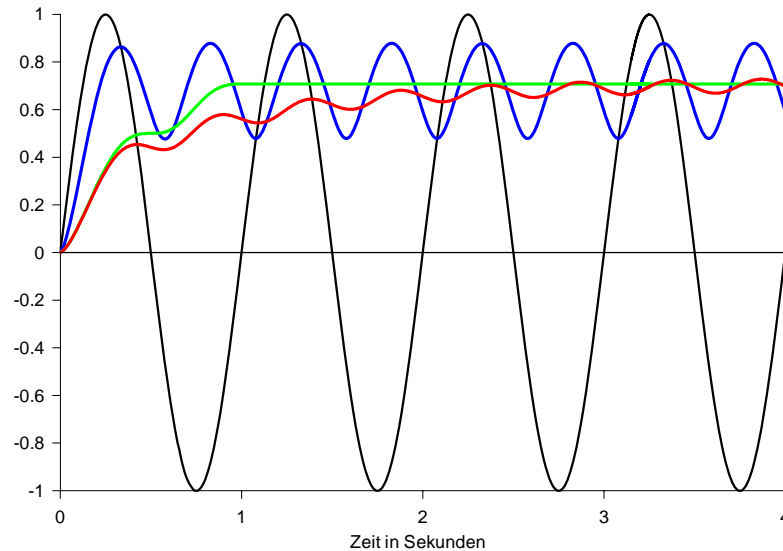


Abbildung 2 Auswirkung verschiedener Effektivwertberechnungsvarianten bei einer 1 Hz Schwingung:
 grün: Integrationszeit $T = 1 \text{ s}$
 rot: Zeitkonstante $\tau = 1 \text{ s}$
 blau: Zeitkonstante $\tau = 0,125 \text{ s}$

4. ENERGIEÄQUIVALENTE IMMISSIONSERMITTLUNG

Da die einwirkenden Erschütterungen im allgemeinen auf einzelne Ereignisse beschränkt und zeitlich stark variabel sind, ist die zeitliche Verteilung der Erschütterungsbelastung während ihrer Einwirkungsdauer im Sinne von VDI 2057-1 zu erfassen. ÖNORM S 9012 ist an sich für die Beurteilung von Verkehrserschütterungen vorgesehen, kann aber selbstverständlich auf andere Erschütterungsquellen vergleichbarer Immissionscharakteristik (zeitweilige Einwirkung variabler Stärke) angewandt werden.

Die Einwirkungsdauer T ist dabei jene Zeitspanne, in der der Mensch durch Erschütterungen, die die Fühlschwelle überschreiten, belastet wird. Schwingungsfreie Zeiten sind nicht in die Einwirkungsdauer einzubeziehen, weshalb jedes Ereignis zunächst einzeln zu bewerten ist.

Die Beurteilung erfolgt zweifach, u.zw. einerseits bezüglich der Maximalimmission während der einzelnen Ereignisse sowie andererseits hinsichtlich der durchschnittlichen Größe der Immission während des Tag- bzw. Nachtzeitraumes.

Aus den gemessenen Zeitverläufen der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$, die gemäß ISO 2631-2 auf den Arbeitsfrequenzbereich bandbegrenzt und mit der Bewertungsfunktion W_m frequenzbewertet sind, wird mittels exponentieller Integration der gleitende Effektivwert der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung a_w

$$a_w(t_0) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t_0} [a_w(t)]^2 e^{\left[\frac{t-t_0}{\tau}\right]} dt}$$

berechnet, wobei

$a_{W}(t)$ Momentanwert der W_m -bewerteten Beschleunigung
 $\tau = 1 \text{ s}$ Integrationskonstante
 t Zeit (Integrationszeit)
 t_0 Beobachtungszeitpunkt

Das Maximum der resultierenden W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung a_W während eines Ereignisses bildet den Erschütterungsscheitelwert $a_{W,S}$.

Die Beurteilung der durchschnittlichen Immissionen baut auf der energieäquivalenten W_m -bewerteten mittleren Schwingbeschleunigung eines Ereignisses mit der Einwirkungsdauer t_e

$$E_v = \sqrt{\frac{1}{t_e} \int_0^{t_e} a_w^2(t) dt}$$

auf, die als Erschütterungsdosis E_v bezeichnet wird. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel der energieäquivalenten Mittelbildung der Erschütterungsdosis.

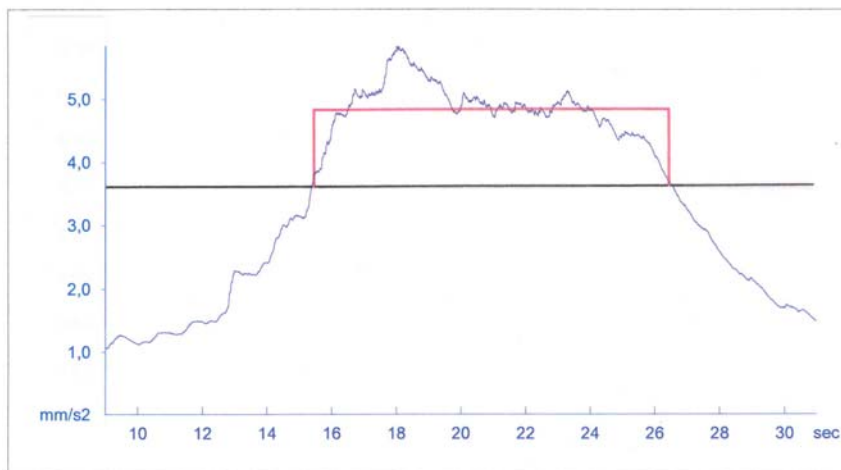


Abbildung 3 Energieäquivalente Durchschnittsimmission oder Erschütterungsdosis eines Ereignisses
 rote Linien, vertikal: Zeitfenster der Äquivalenzberechnung
 rote Linie, horizontal: energieäquivalenter Mittelwert

Aus den $a_{W,S}$ -Werten für die einzelnen Ereignisse, die im Messzeitraum aufgetreten sind, ergibt sich das Beurteilungs-Erschütterungsmaximum E_{\max} nach:

$$E_{\max} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum a_{w,s}^2}$$

Für die Durchschnittsimmission ergibt sich der energieäquivalente Mittelwert der bewerteten Schwingbeschleunigung $a_{W,eq}$ aus den einzelnen Ereignissen n während des Messzeitraums gemäß

$$a_{w,eq} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \sum_{i=1}^n E_{v,i}^2 \cdot t_{e,i}}$$

mit

$$T_E = \sum_{i=1}^n t_{e,i}$$

Die Beurteilungerschütterungsdosis E_r ergibt sich mit dem Beurteilungszeitraum T_r (Tag oder Nacht) gemäß

$$E_r = a_{w,eq} \sqrt{\frac{T_E}{T_r}}$$

5. ANPASSUNG DER IMMISSIONSRICHTWERTE

Da im Vergleich zur Ausgabe 1996 die Frequenzbewertung marginal, die Zeitbewertung der ÖNORM jedoch systematisch (von $T = 1$ s zu $\tau = 1$ s) geändert worden ist, war es im Interesse der Kontinuität der Bewertung erforderlich, Unterschiede genau zu ermitteln. Dazu wurden verschiedene Stichproben, die jeweils mehrere hundert Ereignisse umfassten, parallel nach beiden Auswertemethoden bearbeitet. Unter anderem wurde eine Stichprobe untersucht, bei der systematische Variationen hinsichtlich Erschütterungsquelle (Bahn, U-Bahn, LKW), Baudynamik (Holz-, Leichtbau- und Massivdecken, nicht unterkellerte Räume), Geodynamik (Fels, steife bzw. weiche Lockersedimente, hoher bzw. tiefer Grundwasserstand) und Distanz (8-100 m) berücksichtigt wurden.

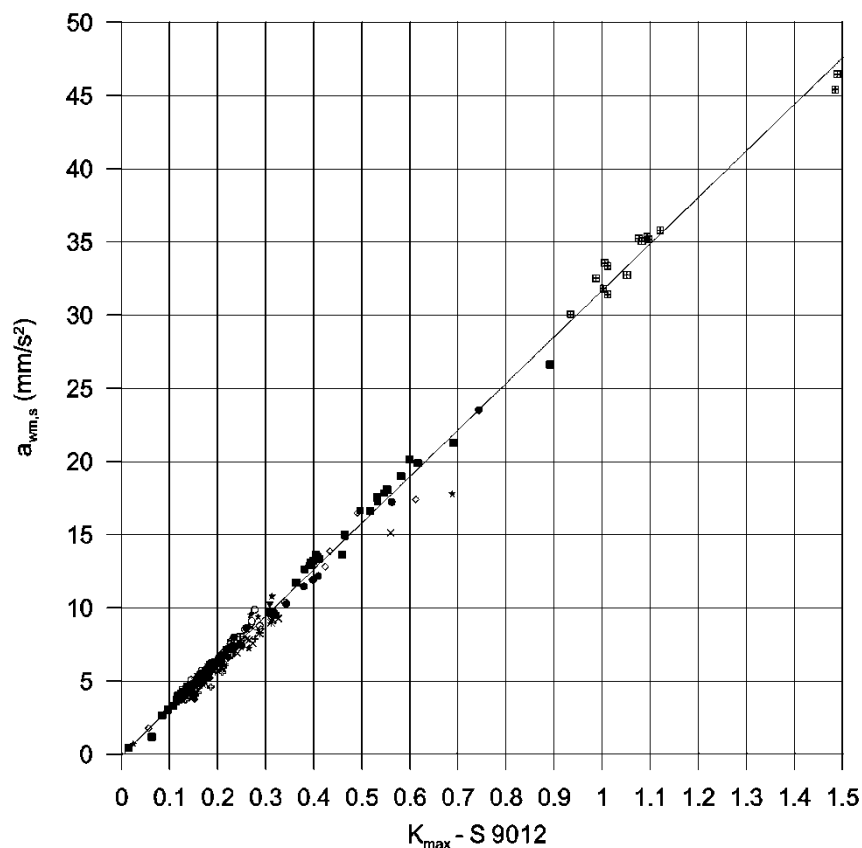


Abbildung 4 Verhältnis der Scheitelwertmaxima der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung zur Bewerteten Schwingstärke

Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,994$ ergibt sich zwischen K_{Bmax} und $a_{Wm,S}$ ein Faktor von $1/31,7$.

Dies zeigt, dass die vorhin dargestellten Modifikationen des Bewertungsverfahrens zwar das Ergebnis geringfügig ändern, diese Änderung aber statistisch sehr stabil ausfällt, sodass durch eine entsprechende Abminderung der Richtwerte ein beurteilungsneutraler Übergang von der alten zur neuen Normausgabe möglich ist.

Da die ÖNORM auf der tatsächlichen Einwirkungszeitdauer und nicht auf festen Taktzeitlängen aufbaut, ist auch der sich aus der unterschiedlichen Bewertungsmethodik ergebende Zeitunterschied von Interesse, der in Abbildung 5 wiedergegeben ist.

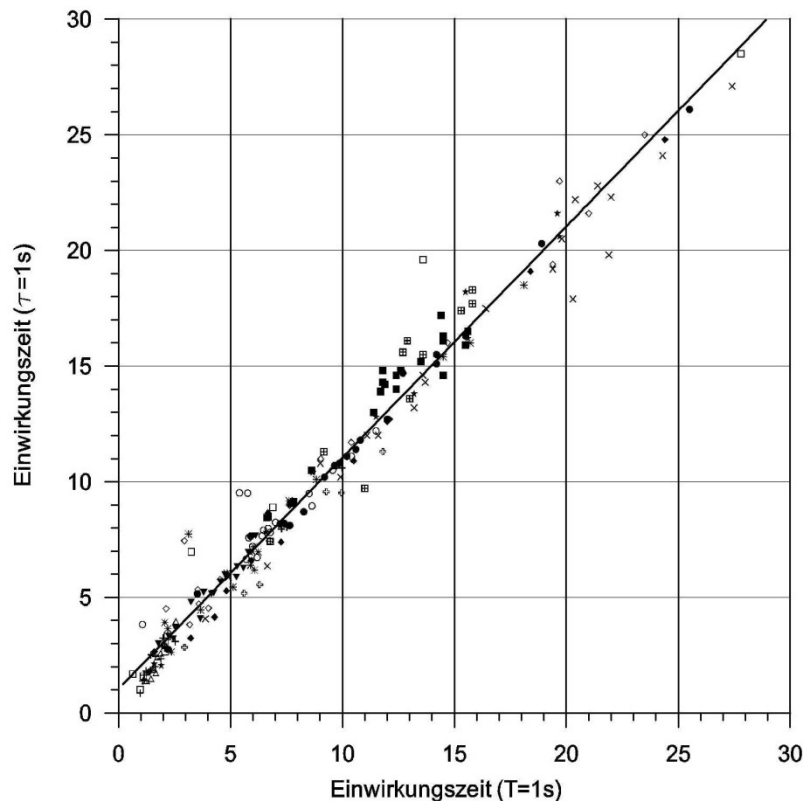


Abbildung 5 Verhältnis der Länge der Einwirkungszeit in Abhängigkeit von der Zeitbewertung

Obwohl in diesem Fall wegen der unabhängigen Variabilität des Zeitverlaufs der Erschütterungsimmissionen und des Reaktionsverlaufs der beiden Effektivwertfunktionen eine schlechtere Korrelation zu erwarten ist, zeigt die Abbildung 5 ebenfalls einen sehr hohen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,97$, wobei die exponentielle Zeitbewertung zu einer systematischen Verlängerung der Einwirkungszeit der Einzelereignisse um ca. 1 Sekunde führt.

6. SEKUNDÄRSCHALL

Das Bewertungsverfahren für den Sekundärschall wurde im wesentlichen von der Ausgabe 1996 nur redaktionell bearbeitet in die neue Ausgabe der Norm übernommen. Entsprechend der ISO 14837-1 ist nunmehr auch die Schallpegelberechnung aus Schwingungsmessungen ausdrücklich zugelassen. In diesem Zusammenhang wird auch festgelegt, dass Schallpegelmessungen bei Sekundärschall nur zulässig sind, wenn die direkten Schallimmissionen um mindestens 10 dB unter jenen des sekundären Schalls liegen. Analog zum Erschütterungsteil der Norm wurde auch hier der Anwendungsbereich um die Gebietskategorie Dienstleistungsstätten mit Erschütterungsemissionen erweitert, da zunehmend der Bedarf entsteht, Immissionsschutzuntersuchungen für in Bahnhöfen eingemietete Büros und Geschäftslokale durchzuführen.

7. BEURTEILUNGSVERFAHREN

Die ÖNORM S 9012 gibt Richtwerte für zwei Stufen an:

- ausreichender Immissionsschutz für Bereiche mit Vorbelastung,
- guter Immissionsschutz für Neubauvorhaben in Bereichen ohne Vorbelastung.

Die Richtwerte werden nach 6 Gebietskategorien im Sinne der Flächenwidmung gegliedert:

- 1 - Ruhegebiet
- 2 - ländliches Wohngebiet
- 3 - städtisches Wohngebiet
- 4 - Kerngebiet
- 5 - Betriebsgebiet mit geringen Erschütterungsimmissionen
- 6 - Betriebsgebiet mit großen Erschütterungsimmissionen

Für Gebiete mit Wohnnutzung (Kategorien 1-4) erfolgen die Richtwertangaben getrennt für die Tag- und Nachtzeit.

Bei der Festlegung der Erschütterungs- und Sekundärschallrichtwerte war es ein wesentliches Anliegen der Norm, immissionsbedingte Aufwachreaktionen in der Nacht zu vermeiden. Hinsichtlich des Sekundärschalls stützte man sich dabei auf die Untersuchungen von Griefahn [10] und hinsichtlich der Erschütterungen auf Untersuchungen des österreichischen Erdbebendienstes [11] über die Weckschwelle bei nächtlichen Erdbeben, die – wie Erfahrungen mit nächtlichen Bauarbeiten zeigen – auch auf technische Erschütterungsquellen übertragbar sind. Demnach ergeben sich erschütterungsbedingte Aufwachreaktionen wie in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 *Erschütterungsbedingte Aufwachreaktionen*

W_m-bewertete Schwingbeschleunigung in mm/s^2	Auswirkung auf den Menschen
28,6	einzelne erwachen (ca. 15%)
89	viele erwachen (ca. 55%)
150	alle erwachen (100%)

Da die Schlaftiefe eines Menschen im Lauf der Nacht schwankt, kann dies so interpretiert werden, dass zunächst nur Menschen aus einer Leichtschlafphase geweckt werden, während bei einer W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung von 150 mm/s^2 Menschen auch aus dem tiefsten Schlaf heraus geweckt werden.

Die Norm behandelt jedoch keine Sondernutzungen wie erschütterungsempfindliche Arbeitsplätze (Tonstudios, Operationssäle u.dgl.), da für diese nicht das Belästigungsausmaß ausschlaggebend ist, sondern funktionale Kriterien entscheidend sind.

Die Beurteilung erfolgt an Hand von 4 Parametern:

- Beurteilungs-Erschütterungsmaximum E_{max} : mittlerer Maximalwert der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung der schlechtesten Zuggattung
- Beurteilungs-Erschütterungsdosis E_r als energieäquivalenter Mittelwert der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung des gesamten Verkehrs im betrachteten Beurteilungszeitraum
- mittlerer A-bewerteter Maximalpegel $L_{A,\text{max},m}$ des Sekundärschalls der lautesten Zuggattung
- A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel $L_{A,\text{eq}}$ des Sekundärschalls des gesamten Verkehrs

Nur wenn alle 4 Parameter die Richtwerte der jeweils anzuwendenden Immissionsschutzstufe erfüllen, ist die Beurteilung positiv. Für den Straßenverkehr oder andere Erschütterungsquellen gilt sinngemäß dasselbe Beurteilungsverfahren.

Die Erfahrungen mit der alten Normausgabe haben ergeben, dass auf die Beurteilung des Sekundärschalls verzichtet werden kann, wenn der direkte Luftschall dominant ist.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Wie vorhin gezeigt worden ist, entspricht die Ausgabe 2010 der ÖNORM S 9012 dem internationalen Stand der Normung. Als besonders einschneidend erweist sich bei den Änderungen im Vergleich zur Ausgabe 1996 die formale Umstellung von der Bewerteten Schwingstärke K_B auf die W_m -bewertete Schwingbeschleunigung a_w , obwohl beide Größen identische Aussagen liefern. Um diese Bewertungsgröße von der physikalisch definierten Schwingbeschleunigung zu unterscheiden, wird es in Zukunft immer erforderlich sein, die W_m -Bewertung ausdrücklich zu nennen, ähnlich wie die Akustiker immer die Bewertungsart (A oder C) des ebenfalls physikalisch definierten Schallpegels angeben. Eine messtechnisch relevante Auswirkung besitzt die Umstellung auf die neue Frequenzbewertung nicht.

Die ISO-Anforderung der dreidimensionalen Resultierenden als Bewertungsgröße erfordert keine Umstellung, da diese schon bisher in der ÖNORM zur Anwendung kam.

Die Umstellung der Zeitbewertung auf eine Integrationskonstante von $\tau = 1$ s ergibt sich aus der ISO-Empfehlung, die eine der menschlichen Wahrnehmung adäquate Erinnerungsfunktion berücksichtigt. Dadurch wird eine nicht der Empfindung entsprechende oszillierende Übersteuerung, die bei einer kürzeren Zeitkonstanten, wie $\tau = 0,125$ s, auftreten würde, vermieden.

Mehrere parallel durchgeführte vergleichende Untersuchungen nach beiden Bewertungsverfahren ergeben eine in hohem Ausmaß bestehende Korrelation, sodass die Kontinuität der Erschütterungsbewertung auch unter den neuen Normansätzen gegeben ist.

Schließlich wird durch die konsequente Umsetzung des Energieäquivalenzprinzips für die Ermittlung der durchschnittlichen Immissionen eine methodische Angleichung an die Bewertungsverfahren der Akustik erreicht, die letztlich eine bessere Vergleichbarkeit beider Immissionsformen verspricht.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ÖNORM S 9012: Beurteilung der Einwirkung von Schienenverkehrsimmissionen auf den Menschen in Gebäuden: Schwingungen und sekundärer Luftschall (Ausgabe 1996).
- [2] DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkung auf Menschen in Gebäuden (Ausgabe 1992).
- [3] Studer, J.A.; Koller, M.G.: Bodendynamik. 2.Aufl., Berlin: Springer 1997.
- [4] BAFU: Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen. Bericht der Fachgruppe. Bern 2006.
- [5] Said, A.; Fleischer, D.; Kilcher, H.; Grütz, H.P.: Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr. Zs.f.Lärmbekämpfung, 2001.
- [6] Dupuis, H.; Zerlett, G.: Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwingungen. Schriftenreihe HVGB, Bonn, 1984.
- [7] Dieckmann, D.: Einfluss vertikaler mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Int. Zs. angew. Phys. einschl. Arbeitsphys., 16, 519-564, 1957.
- [8] Dieckmann, D.: Einfluss horizontaler mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Int. Zs. angew. Phys. einschl. Arbeitsphys., 17, 83-100, 1958.
- [9] Weber, G.: Gedächtnismodelle und Beurteilungsmaßstäbe. VDI-Ber. 284, 23-28, 1977.
- [10] Griefahn, B.: Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. ZS f. Lärmbek. 37, 7-14, 1990.
- [11] Steinhauser, P.: Die Untersuchung technischer Erschütterungen – ein Beitrag der Geophysik zum Umweltschutz. Aus: Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1851-2001, Leykam, Graz, 741-764, 2001.

AUTOR

Univ.Prof.Dr.Peter Steinhauser
Delugstraße 8, 1190 Wien, Österreich
e-mail: peter@steinhauser.eu