

# **Erschütterungsnormen im internationalen Vergleich**

Dr. A. Ziegler; ZIEGLER CONSULTANTS, Zürich

---

# 1 Übersicht

Mit der Erfindung von Maschinen und Eisenbahnen hat sich der Mensch nicht nur eine grosse Annehmlichkeit verschafft sondern auch erheblichen Ärger eingehandelt, da diese neuen Erfindungen ihn nicht nur hilfreich unterstützen sondern ihn auch mit Lärm, Gestank und Erschütterungen beeinträchtigen. Um nun diese Beeinträchtigungen in einigermaßen vernünftigen Grenzen zu halten, ist man mit der Zeit darauf gekommen, Grenzwerte aufzustellen und diese in allgemein verbindlichen Normen festzulegen.

Die unterschiedlichen geschichtlichen Entwicklungen, aber auch die verschiedenen Interessenlagen haben dazu geführt, dass fast in jedem europäischen Land eine eigene Norm über Erschütterungsimmissionen existiert. Im vorliegenden Bericht soll nun versucht werden, zumindest einen Teil dieser verschiedenen Normen untereinander zu vergleichen und zwar mit dem Ziel, einerseits die verschiedenen Methoden einander gegenüberzustellen und andererseits konkrete zahlenmässige Vergleiche aufzustellen.

## 1.1 Zusammenstellung der berücksichtigten Normen

Für diesen Vergleich wurden die Normen der Schweiz, von Österreich, von Deutschland, von England, von Finnland und von den USA berücksichtigt. Eine Zusammenstellung der Normen dieser Länder, die sich auf Erschütterungsimmissionen beziehen, findet sich in Tabelle 1.1. Für jede Norm ist angegeben, in welche Kategorie die Norm einzustufen ist, d.h. ob sie (A) erschütterungsspezifische Begriffe und Bewertungsverfahren definiert, ob sie (B) Messverfahren regelt und ob sie (C) Erschütterungsgrenzwerte oder Richtwerte festlegt.

**Tabelle 1.1** Zusammenstellung der berücksichtigten Normen

Norm (Jahr)	Teil	Titel / Inhalt	A	B	C
SN 640312a (1992)	Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke				
	A	Allgemeines / Geltungsbereich / Wirkung etc.	X		
	B	Richtwerte / Empfindlichkeitsklassen / Häufigkeit			X
	C	Durchführung der Erschütterungsmessungen		X	
DIN 4150	Erschütterungen im Bauwesen				
(1975)	1	Grundsätze, Vorermittlungen und Messung von Schwingungsgrössen	X		
(1992 / 1997)	2	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden			X
(1997)	3	Einwirkungen auf bauliche Anlagen			X
DIN 45 669	Messung von Schwingungsimmissionen				
(1995)	1	Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung		X	
(1995)	2	Messverfahren		X	
(1986)	3	Auswerteverfahren		X	

DIN 45 672	Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen			
(1991)	1	Messverfahren	X	X
(1995)	2	Auswerteverfahren	X	
ÖNORM S9001 (1978)	Mechanische Schwingungen – Erschütterungen Allgemeine Grundsätze und Ermittlung von Schwingungsgrössen		X	X
ÖNORM S9010 (1982)	Bewertung der Einwirkung mechanischer Schwingungen und Erschütterungen auf den Menschen (ganzer Körper)		X	
ÖNORM S9012 (1996)	Beurteilung der Einwirkung von Schienenverkehrsimmissionen auf Menschen in Gebäuden – Schwingungen und sekundärer Luftschall			X
ÖNORM S9020 (1986)	Bauwerkerschütterungen – Sprengerschütterungen und vergleichbare impulsförmige Immissionen			X
VDI 2057	Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen			
(1987)	1	Grundlagen, Gliederung, Begriffe	X	
(1987)	2	Bewertung	X	
(1987)	3	Beurteilung	X	
(1987)	4	Messung und Beurteilung von Arbeitsplätzen in Gebäuden	X	
BS 7385	Evaluation and measurement for vibrations in buildings			
(1993)	1	Guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings	X	
(1990)	2	Guide to damage levels from ground borne vibration		X X
BS 6841 (1987)	Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock		X	X
BS 6472 (1992)	Evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)		X	X X
ANSI S2.47 (1990)	Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings		X	X
ANSI S3.29 (1983)	Guide to the evaluation of human exposure to vibration in buildings		X	X X
Finnland (1990)	Aus „Blast Vibration: Threshold Values and Vibration control“, R. Vuolio, Acta Polytechnica Scandinavica, Civ. Eng. Series No. 95			

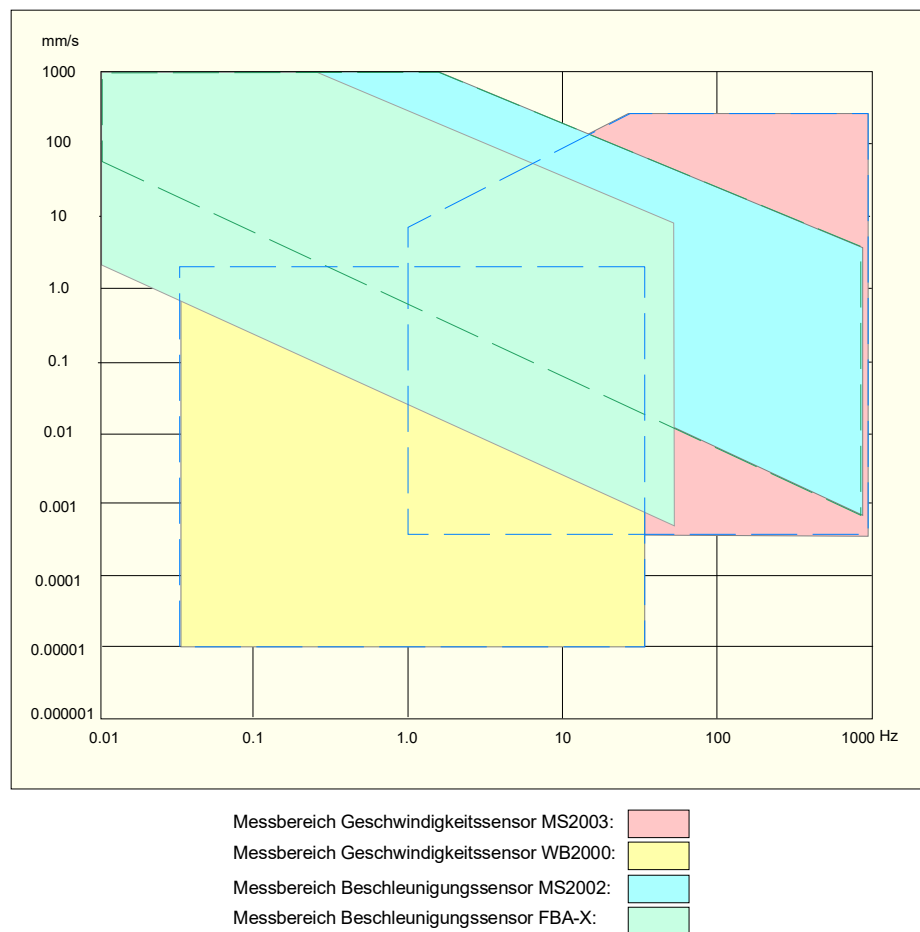
## 2 Messverfahren

### 2.1 Messausrüstung

Über die Messausrüstung werden in den einzelnen Normen zum Teil sehr umfangreiche Anforderungskataloge aufgestellt. Bezüglich Messaufnehmertyp hingegen werden richtigerweise keine direkten Vorschriften gemacht, doch ist bei den meisten Normen eine Weiterverarbeitung der Messgrösse in Form von Schwinggeschwindigkeit vorgesehen, was die

Verwendung eines Schwinggeschwindigkeitsaufnehmers nahe legt. Einzig in den beiden Normen BS 7385 und ANSI S2.47 wird eine Empfehlung bezüglich der Wahl des Schwingungsaufnehmers abgegeben: Für Erschütterungen aus Verkehr, Sprengen und Rammen wird der Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer empfohlen. Für Erschütterungen von Maschinen werden sowohl Geschwindigkeits- als auch Beschleunigungsaufnehmer empfohlen. Lediglich für Schwingungen aus Windanregung werden – wahrscheinlich wegen der extrem tiefen Eigenfrequenzen bei Hochkaminen oder Hängebrücken unter Wind einfluss – Beschleunigungsaufnehmer empfohlen.

Bild 2.1 veranschaulicht die Messbereiche von je zwei Geschwindigkeits- und zwei Beschleunigungssensoren für den MR2002.



**Bild 2.1** Messbereiche verschiedener Sensoren für den MR2002

Grundsätzlich ist die Wahl des Aufnehmers für jeden Fall speziell abzuklären. Im Bauingenieurbereich wird man in den meisten Fällen dem Geschwindigkeitssensor den Vorzug geben, weist er doch im interessierenden Frequenzbereich einen sehr grossen Messbereich von 0,003 bis 100 mm/s auf. Ueberdies ist das menschliche Empfinden im Frequenzbereich von 5 bis 80 Hz proportional zur Schwinggeschwindigkeit. Schliesslich spricht auch die Definition der Grenzwerte, die in den meisten Normen in Schwinggeschwindigkeit angegeben ist, für die Verwendung eines Geschwindigkeitssensors. Für Schwingungen mit bleibenden Verschiebungen oder mit grossen Wegamplituden ist der Geschwindigkeitssensor nicht geeignet. Hier wird mit Vorteil der Beschleunigungssensor eingesetzt. Auch für Messungen bei empfindlichen Anlagen (EDV-Anlagen, Elektronenmikroskope etc.), für welche die Grenzwerte in Form von maximal zulässigen Beschleunigungen angegeben sind, empfiehlt sich die Verwendung des Beschleunigungssensors.

Die meisten Normen enthalten Angaben über den abzudeckenden Frequenzbereich. Für Einwirkungen auf den Menschen wird ein Frequenzbereich von mindestens 4 bis 80 Hz verlangt, in einigen Normen von 1 bis 80 Hz. Für Einwirkungen auf Gebäude wird ein Bereich von 2 bis 100 Hz oder 5 bis 150 Hz verlangt, wobei bei Sprengerschütterungen die obere Frequenzgrenze bis auf 250 oder 315 Hz erhöht werden muss. Bei Eisenbahnerschütterungen wird in der DIN 45672 ein Frequenzbereich von 4 bis 315 Hz verlangt.

Die Nachweisgrenze d.h. die tiefste noch sicher messbare Erschütterung wird nur von wenigen Normen festgelegt. In der DIN 45669 wird ein Wert von 0.05 mm/s, in der ONORM S9012 ein Wert von 0.1 mm/s angegeben. Der MR2002 z.B. hat eine Auflösung von 0.0035 mm/s.

## 2.2 Messort

Der zu wählende Messort wird von allen Normen sehr einheitlich angegeben: Für Einwirkungen auf Gebäude wird ein Messpunkt auf dem der Erschütterungsquelle zugewandten Fundament oder was realistischer ist, ein Messpunkt auf der der Erschütterungsquelle zugewandten Kellermauer, z.B. in einer Fensternische, vorgeschrieben. Für Einwirkungen auf Menschen ist auf dem Fussboden, wo sich die Menschen aufhalten, zu messen.

## 3 Beurteilungsgrössen

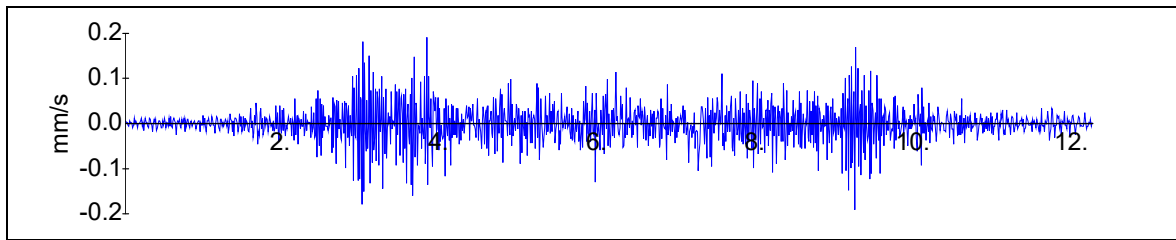
Die Beurteilungsgrösse ist die für die Schwingstärke charakteristische Grösse, die mit den in den Normen festgelegten Grenz- oder Richtwerten zu vergleichen ist. In den oben aufgeführten Normen werden folgende Beurteilungsgrössen verwendet:

**Tabelle 3.1** Beurteilungsgrössen für Erschütterungsimmissionen

Symbol	Beschreibung
$v_{z,max}$	Maximale vertikale Schwinggeschwindigkeit
$v_{r,max}$	Maximale Vektorsumme der Schwinggeschwindigkeit
$v_{eff,max}$	Maximale effektive Schwinggeschwindigkeit
$KB_{Fmax}$	Maximale bewertete Schwingstärke nach DIN 4150-2
$K_B$	Bewertete Schwingstärke nach ÖNORM S 9012
$v_E$	Vorbeifahrtspegel nach SBB-Richtlinien

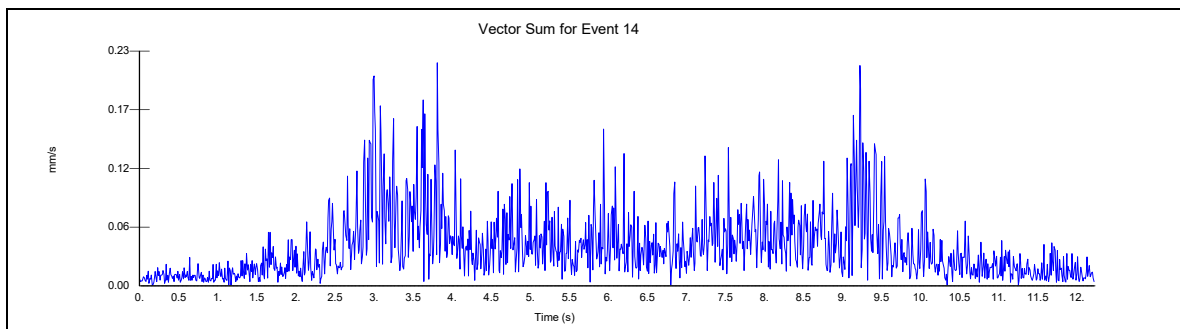
Die Berechnung der einzelnen Beurteilungsgrössen wird im folgenden kurz dargestellt und an Hand einer Erschütterungsmessung für eine Zugvorbeifahrt illustriert.

Die maximale Schwinggeschwindigkeit  $v_{max}$  ist der höchste Momentanwert aus dem Schwingungssignal. Im Beispiel von Bild 3.1 erreicht sie einen Wert von 0.23 mm/s.



**Bild 3.1** Vertikale Schwingung des Fussbodens in Zimmermitte bei einer Zugvorbeifahrt

Die maximale Vektorsumme  $v_{r,max}$  ergibt sich durch vektorielle Addition der drei Komponenten zu jedem Zeitpunkt. Im Falle der Deckenschwingung ist dieser Wert praktisch identisch mit  $v_{z,max}$ .

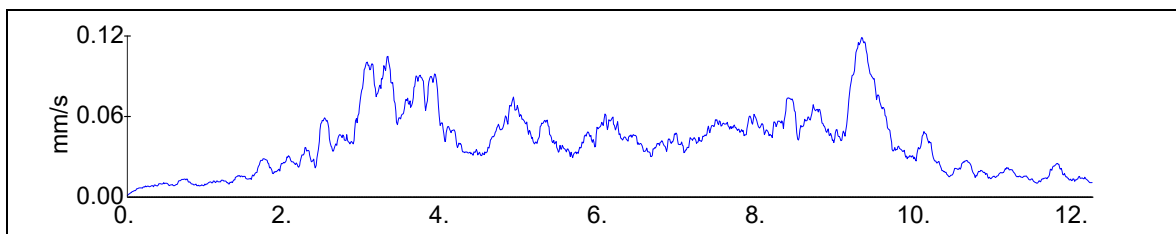


**Bild 3.2** Vektorsumme der Schwingung des Fussbodens in Zimmermitte bei einer Zugvorbeifahrt

Die maximale effektive Schwinggeschwindigkeit  $v_{eff,max}$  (im englischen Sprachraum oft auch  $v_{rms}$  genannt) ergibt sich durch Mittelung der Werte des Schwingungssignals innerhalb eines Zeitfensters von zumeist 0.125 s Länge nach dem RMS-Verfahren:

$$\text{RMS} = \text{Root Mean Square} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

Das Zeitfenster wandert über das gesamte Signal (deshalb gleitender Effektivwert genannt), wodurch sich ein neues geglättetes Signal ergibt wie in Bild 3.3 dargestellt. Der maximale Effektivwert beträgt 0.12 mm/s



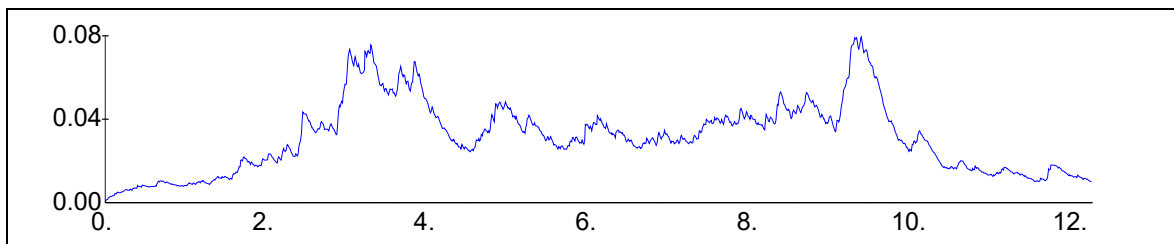
**Bild 3.3** Effektivwert des Signals in Bild 3.1 mit Zeitfenster von  $T = 0.125$  s.

Eng verwandt mit dem maximalen Effektivwert in Bild 3.3 ist die in DIN 4150 verwendete Beurteilungsgrösse  $KB_{Fmax}$ . Sie entsteht durch folgenden Rechenprozess:

1. Bandpassfilterung des Geschwindigkeitssignals zwischen 1 und 80 Hz
2. Frequenzbewertung zur Reduktion der Schwingungsanteile unter 8 Hz

3. Bildung des gleitenden Effektivwertes ähnlich wie in Bild 3.3 (anstatt des Rechteckfensters wird ein Exponentialfenster verwendet)
4. Der Maximalwert entspricht der maximalen bewerteten Schwingstärke  $KB_{Fmax}$ .

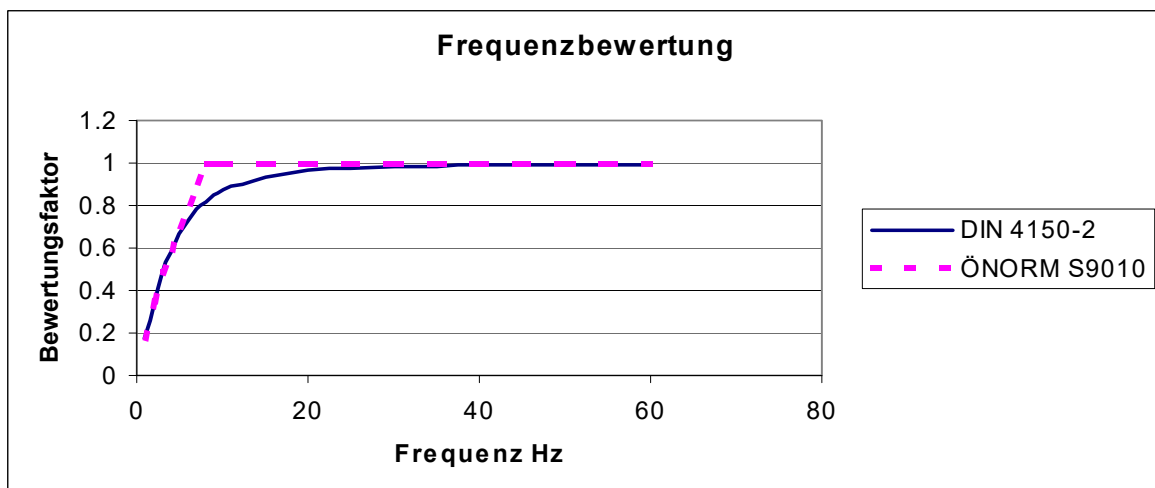
In Bild 3.4 ist der gleitende Effektivwert nach DIN 4150-2 dargestellt. Die Form ist praktisch identisch mit dem gleitenden Effektivwert in Bild 3.3. Durch die Frequenzbewertung mit Reduktion der Anteile unter 8 Hz ergibt sich beim vorliegenden Signal, das auf einer relativ weit gespannten Holzdecke aufgenommen wurde und deshalb erhebliche Anteile an tiefen Frequenzen aufweist, eine recht starke Reduktion der Amplitude. Der Maximalwert erreicht 0.083 mm/s. Bei Betondecken ist der Unterschied zwischen  $v_{eff,max}$  und  $KB_{Fmax}$  wesentlich geringer, oft nicht mehr als 5 bis 10 %.



**Bild 3.4** Gleitender frequenzbewerteter Effektivwert nach DIN 4150-2

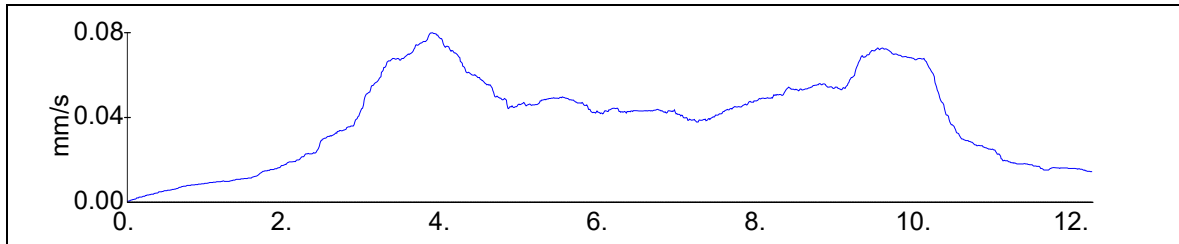
Die bewertete Schwingstärke, wie sie nach ÖNORM S 9012 definiert ist, berechnet ähnlich wie die bewertete Schwingstärke nach DIN 4150-2. Der Hauptunterschied liegt in der Länge des Zeitfensters für den gleitenden Effektivwert. Es wird ein Zeitfenster von 1s verwendet und nicht von 0.125 s, weshalb die bewertete Schwingstärke nach ÖNORM S9012 erheblich tiefer liegt und nicht direkt mit der bewerteten Schwingstärke nach DIN 4150-2 verglichen werden kann. Weitere Unterschiede, allerdings in der Auswirkung von untergeordneter Bedeutung, sind die Verwendung eines Rechteck- statt Exponentialfensters für die Bildung des gleitenden Effektivwertes und die Definition der Frequenzbewertung in Form von Kurven gleicher Wahrnehmung.

Die Kurven gleicher Wahrnehmung bewirken eine Reduktion der Frequenzanteile unterhalb von 8 Hz. In Bild 3.5 ist die Frequenzbewertung nach DIN 4150-2 verglichen mit der Frequenzbewertung in der ÖNORM S9010. Der Unterschied ist für praktische Fälle kaum von Bedeutung.



**Bild 3.5** Vergleich der Frequenzbewertung nach DIN 4150-2 mit der Frequenzbewertung in der ÖNORM S9010

In Bild 3.6 ist der gleitende frequenzbewertete Effektivwert nach ÖNORM S9010 dargestellt. Die Kurve ist stärker geglättet als in Bild 3.4 wegen des längeren Fensters für die Effektivwertbildung. Der Maximalwert erreicht bei diesem Beispiel einen Wert von 0.082 d.h. den gleichen Wert wie nach DIN 4150-2. In den meisten Fällen liegt jedoch der Wert nach der ÖNORM tiefer als nach der DIN-Norm.



**Bild 3.6** Gleitender frequenzbewerteter Effektivwert nach ÖNORM S9010



## 4 Grenzwerte für Einwirkungen auf Menschen

Grenzwerte für Einwirkungen auf Menschen werden von verschiedenen Normen entsprechend den jeweils gewählten Beurteilungsgrössen definiert. Dabei wird zumeist betont, dass es sich nicht um starre Grenzwerte sondern vielmehr um Richtwerte handelt.

### 4.1 Richtwerte der Schweizerischen Bundesbahnen

Erschütterungsquelle:	Eisenbahnverkehr
Beurteilungsgrösse:	Vorbeifahrtspegel $V_E$
Kriterium:	90-Perzentile von $v_E < \text{Richtwert}$

	<b>Immissionsrichtwert (Aus-/Umbau bestehender Anlagen)</b> ( $v_{\text{rms}}$ [mm/s])		<b>Planungsrichtwert (Neubau)</b> ( $v_{\text{rms}}$ [mm/s])	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht
a) reine Wohnzonen Zonen für öffentliche Nutzung (Schul-areale; Spitäler)	0.4	0.3	0.3	0.2
b) Mischzonen städtische Kernzonen ländliche Dorfzonen Landwirtschaftszonen vorbelastete reine Wohnzonen	0.5	0.4	0.4	0.3

$V_E$  = Energieäquivalenter Dauer-Schwinggeschwindigkeitspegel (energetischer Mittelungspegel) während einer Zugvorbeifahrt am Immissionsort, gemessen in der Mitte des Raumbodens (vertikale Schwingungsrichtung), welcher bei der Vorbeifahrt von mindestens 90 % aller Züge einzuhalten ist. Zugvorbeifahrt = Zeitdauer, während welcher der Effektivwert (RMS-Wert; Zeitkonstante 125 ms) des Schwinggeschwindigkeitspegels über 0.01 mm/s liegt.

#### 4.2 Richtwerte der DIN 4150-2 (ohne oberirdische Schienenwege)

Erschütterungsquelle:	Generell; ausgenommen oberirdischer Schienenverkehr
Beurteilungsgrösse:	1. Max. bewertete Schwingstärke $KB_{Fmax}$ 2. Beurteilungsschwingstärke $KB_{FTr}$
Kriterium:	1. $KB_{Fmax} < A_o$ (Kurzzeitbetrachtung) 2. $KB_{FTr} < A_r$ (Langzeitbetrachtung)

Nr.	Einwirkungsort	tags		nachts	
		$A_o$	$A_r$	$A_o$	$A_r$
1	Gewerbliche Anlagen	6	0.2	0.6	0.15
2	Vorwiegend gewerbliche Anlagen	6	0.15	0.4	0.1
3	Mischgebiete	5	0.1	0.3	0.07
4	Wohngebiete	3	0.07	0.2	0.05
5	Ruhezonen (Krankenhäuser etc.)	3	0.05	0.15	0.05

#### 4.3 Richtwerte der DIN 4150-2 (oberirdische Schienenwege)

Erschütterungsquelle:	Generell; ausgenommen oberirdischer Schienenverkehr
Beurteilungsgrösse:	1. Max. bewertete Schwingstärke $KB_{Fmax}$ 2. Beurteilungsschwingstärke $KB_{FTr}$
Kriterium:	1. $KB_{Fmax} < A_o$ 2. $KB_{FTr} < A_r$

Nr.	Einwirkungsort	tags		nachts	
		$A_o$	$A_r$	$A_o$	$A_r$
1	Gewerbliche Anlagen	6	0.3	0.6	0.22
2	Vorwiegend gewerbliche Anlagen	6	0.22	0.4	0.15
3	Mischgebiete	5	0.15	0.3	0.10
4	Wohngebiete	3	0.1	0.2	0.08
5	Ruhezonen (Krankenhäuser etc.)	3	0.08	0.15	0.08

#### 4.4 Richtwerte der ÖNORM S9012

Erschütterungsquelle:	Schienenverkehr
Beurteilungsgrösse:	Bewertete Schwingstärke $K_B$
Kriterium:	1. Ueber alle Züge eines Zugtyps gemitteltes $K_B < K_{B,ausreichend}$ 2. Ueber alle Züge gemitteltes $K_B < a/(T_E)^{0.5}$ ( $T_E$ = Einwirkungsdauer)

Nr.	Einwirkungsort	$K_{B,ausreichend}$		$K_{B,gut}$		$a_{ausreichend}$		$a_{gut}$	
		tags	nacht	tags	nacht	tags	nacht	tags	nacht
1	Ruhezonen (Krankenhäuser etc.)	6	0.6	3	0.3	18.98	12.72	9.49	6.36
2	Vororte	8	0.6	4	0.3	25.30	12.72	12.65	6.36
3	Städt. Wohngebiete	8	0.6	4	0.3	25.30	12.72	12.65	6.36
4	Kerngebiete	10	0.6	6	0.4	31.62	16.98	18.98	8.49
5	Betriebe mit geringem Lärm	12	12	8	0.8	37.96	37.96	25.30	25.30

#### 4.5 Richtwerte der BS 6472

Erschütterungsquelle:	Generell
Beurteilungsgrösse:	Maximale Schwinggeschwindigkeit $v_{max}$
Kriterium:	$v_{max} < v_{Richtwert}$

Nr.	Einwirkungsort	Dauernd		Kurzeit (z.B. 3 Sprengungen pro Tag)		Kurzeit (z.B.600 Rammschlä- ge pro Tag)	
		tags	nacht	tags	nacht	tags	nacht
1	Ruhezonen	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
2	Ruhige Wohngebiete	0.28	0.2	8.5	2.8	0.60	0.2
3	Tolerante Wohngebiete	0.56	0.2	12.7	2.8	0.89	0.2
4	Büro	0.56	0.56	18.1	18.1	1.27	1.27
5	Werkstatt	1.13	1.13	18.1	18.1	1.27	1.27

Der Richtwert für Kurzzeiteinwirkungen wird in der Norm BS 6472 für maximal 3 Sprengungen pro Tag angegeben. Für häufigere Einwirkungen wird der Richtwert der Häufigkeit und Einwirkungsdauer entsprechend reduziert. In obenstehender Tabelle wurde der Richtwert für 600 Rammschläge pro Tag, was etwas dem Rammen von 3 bis 5 Pfählen entspricht, angegeben.

## 5 Grenzwerte für Einwirkungen auf Gebäude

### 5.1 Richtwerte der SN 640 312a

Erschütterungsquelle:	Generell
Beurteilungsgrösse:	Vektorsumme $v_{res}$ (in mm/s)
Kriterium:	$v_{res,max} < \text{Richtwert}$

	Gelegentlich ( $\ll 1000$ )			Häufig			Permanent ( $\gg 100'000$ )		
	< 30	30 - 60	> 60	< 30	30 - 60	> 60	< 30	30 - 60	> 60
Sehr wenig empfindlich	45	60	90	18	24	36	9	12	18
Wenig empfindlich	30	40	60	12	16	24	6	8	12
Normal empfindlich	15	20	30	6	8	12	3	4	6
Erhöht empfindlich	8	10	15	3	4	6	1.5	2	3

### 5.2 Richtwerte der DIN 4150-3

Erschütterungsquelle:	Generell
Beurteilungsgrösse:	Maximale Schwinggeschwindigkeit $v_{max}$ (in mm/s)
Kriterium:	$v_{max} < \text{Richtwert}$

	Kurzzeitige Erschütterung				Dauernd	
	$v_{max}$ auf Fundament				$v_{h,max}$ auf oberster Geschossdecke	$v_{h,max}$ auf oberster Geschossdecke
Frequenzbereich:	< 10	10 - 50	50 - 100	> 100		
Industriebauten	20	20 - 40	40 - 50	50	40	10
Wohngebäude	5	5 - 15	15 - 20	20	15	5
Empfindliche Gebäude	3	3 - 8	8 - 10	10	8	2.5

### Richtwerte der ÖNORM S9020

Erschütterungsquelle:	Sprengerschütterung und andere impulsförmige Erschütterungen
Beurteilungsgrösse:	Maximale Vektorsumme der Schwinggeschwindigkeit $v_{res,max}$
Kriterium:	$v_{res,max} < \text{Richtwert}$

	Richtwert generell (in mm/s)	Richtwert auf Fels (in mm/s)
Industriebauten	30	50
Wohngebäude modern	20	32.5
Wohngebäude traditionell	10	15
Empfindliche Gebäude	5	8

### 5.3 Richtwerte in Skandinavien

Erschütterungsquelle:	Sprengerschütterung
Beurteilungsgrösse:	Maximale Schwinggeschwindigkeit $v_{z,max}$
Kriterium:	$v_{z,max} < \text{Richtwert}$

Richtwerte in mm/s für Wohngebäude:

Distanz in m	Sand / Ton	Moräne	Fels
1	18	35	140
10	18	35	85
100	10	17	28
1000	6	9	12

Zur Berücksichtigung des Bautyps werden folgende Faktoren angewendet:

Nr.	Bautyp	Faktor
1	Schwere Bauten wie Brücken etc.	2.00
2	Stahlbetongebäude, Stahlbauten, Kavernen	1.50
3	Büro- und Industriegebäude	1.20
4	Wohngebäude	1.00
5	Leichtbetongebäude	0.75
6	Erschütterungsempfindliche Gebäude	0.65
7	Erschütterungsempfindliche historische Gebäude	0.50

#### 5.4 Richtwerte der BS 7385 Teil 2

Erschütterungsquelle:	Generell
Beurteilungsgrösse:	Maximale Schwinggeschwindigkeit $v_{\max}$
Kriterium:	$v_{\max} < \text{Richtwert}$

	Kurzezeitwirkung			Dauereinwirkung		
	4 – 15 Hz	15 – 40 Hz	> 40 Hz	4 – 15 Hz	15 – 40 Hz	> 40 Hz
Stahlbeton	50 mm/s	50 mm/s	50 mm/s	25 mm/s	25 mm/s	25 mm/s
Wohngebäude	15 - 20	20 - 50	50 mm/s	7.5 - 10	10 - 25	25 mm/s

## 6 Grundlagen für den Normenvergleich

Um die verschiedenen Normen untereinander vergleichen zu können, sind gewisse vereinfachende Annahmen zu treffen. Fürs erste sind Korrelationen zwischen den verschiedenen Bewertungsgrößen zu postulieren, die in Wirklichkeit in dieser einfachen Form gar nicht existieren. Dann müssen die Definitionen der verschiedenen Wohngebiete und der verschiedenen Empfindlichkeitsstufen der Gebäude relativ grosszügig ausgelegt werden, um sinnvolle Entsprechungen zu erhalten. Und schliesslich müssen für manche Normenvergleiche konkrete typische Fallbeispiele verwendet werden, um direkte Vergleiche aufstellen zu können.

### 6.1 Korrelation zwischen den Bewertungsgrößen

Aus der Auswertung einer Grosszahl von Aufzeichnungen haben sich folgende Beziehungen zwischen den Beurteilungsgrößen ergeben:

**Tabelle 6.1** Korrelation zwischen den Beurteilungsgrößen

Beurteilungsgrößen	Symbol	Zugerschütterung	Sprengen Rammen
Maximale Schwinggeschwindigkeit	$v_{\max}$	1.0	1.0
Maximale Vektorsumme	$v_{\text{Res,max}}$	1.2	1.3
Max. Effektivwert mit $T = 0.125$ s	$v_{\text{eff,max}}$	0.50	0.6
Frequenzbewertete Schwingstärke nach DIN 4150-2	$KB_{F\max}$	0.45	0.35
Frequenzbewertete Schwingstärke nach ÖNORM	$K_B$	0.35	0.25
Vorbeifahrtspegel nach SBB-Richtwert	$v_E$	0.22	-

### 6.2 Referenzbeispiele für den Normenvergleich

Beim Normenvergleich wurden folgende Referenzbeispiele für Erschütterungsimmissionen verwendet:

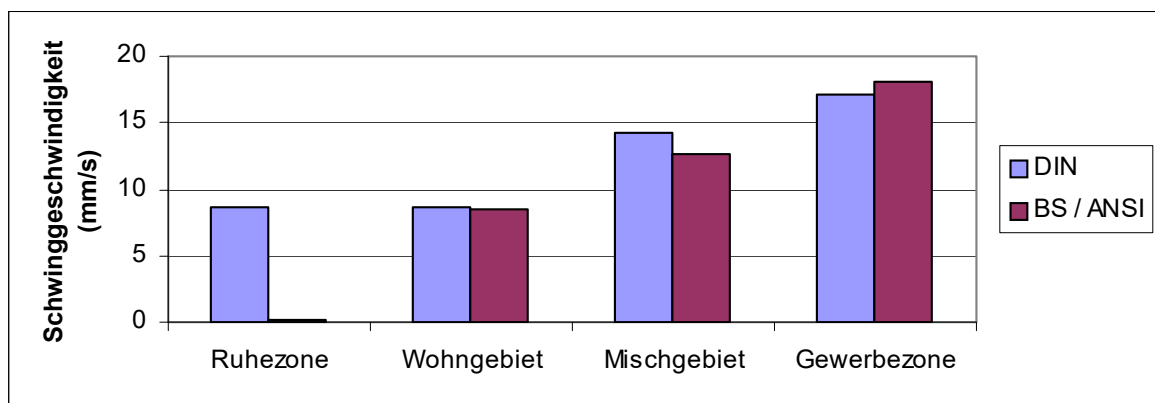
- Sprengen: 3 x pro Tag
- Rammen: 3 Pfähle mit 200 Schlägen pro Pfahl; 15 Min pro Pfahl
- Dauer-Erschütterung
- Zugerschütterung stark befahrene Strecke: tags: 10 Züge pro Stunde à 15 s  
nachts: 5 Züge pro Stunde à 15 s
- Zugerschütterung schwach befahrene Strecke: tags: 5 Züge pro Stunde à 15 s  
nachts: 2 Züge pro Stunde à 15 s

## 7 Normenvergleich für Einwirkungen auf den Menschen

### 7.1 Sprengen

**Tabelle 7.1** Normenvergleich für Sprengen (tags) mit maximal drei Sprengungen pro Tag

	Normen		Normiert auf $v_{z,max}$	
	DIN 4150-2	BS 6472 ANSI S3.29	DIN 4150-2	BS 6472 ANSI S3.29
Immissionsort	$KB_{Fmax}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$
Ruhezone	3	0.14	8.6	0.14
Wohngebiet	3	8.5	8.6	8.5
Mischgebiet	5	12.7	14.3	12.7
Gewerbezone	6	18.1	17.1	18.1



**Bild 7.1** Normenvergleich für Sprengen

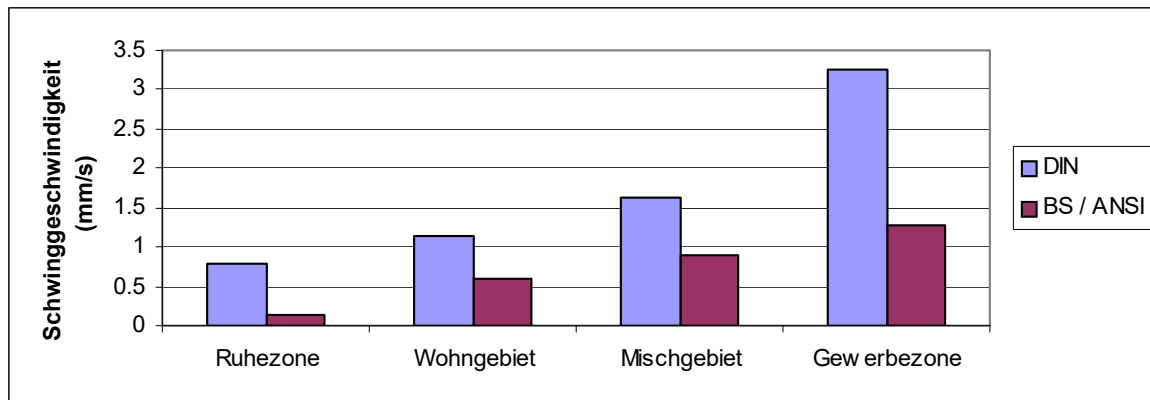
Der Vergleich in Bild 7.1 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Richtwerten der verschiedenen Normen. Lediglich für Ruhezone, in denen nach BS und ANSI nicht gesprengt werden darf, besteht eine Diskrepanz. Die Unterschiede von 2 bis 3 mm/s in  $v_{max}$  in den übrigen Gebieten sind für das menschliche Empfinden nicht von Bedeutung. Die zugelassene Werte von 8 und 13 mm/s für Wohn- bzw. Mischgebiete sind zwar recht hoch, doch dürften sie bei entsprechender Vorwarnung keine Probleme ergeben.



## 7.2 Rammen

**Tabelle 7.3** Normenvergleich für Rammen von 3 Pfählen à 200 Schläge; 15 Min pro Pfahl

	Normen		Normiert auf $v_{z,max}$	
	DIN 4150-2 $KB_F = 5.66 A_r$	BS 6472 ANSI S3.29	DIN 4150-2	BS 6472 ANSI S3.29
Immissionsort	$A_r$	$KB_F$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$
Ruhezone	0.05	0.28	0.14	0.14
Wohngebiet	0.07	0.40	0.60	0.60
Mischgebiet	0.10	0.57	0.89	0.89
Gewerbezone	0.20	1.14	1.27	1.27



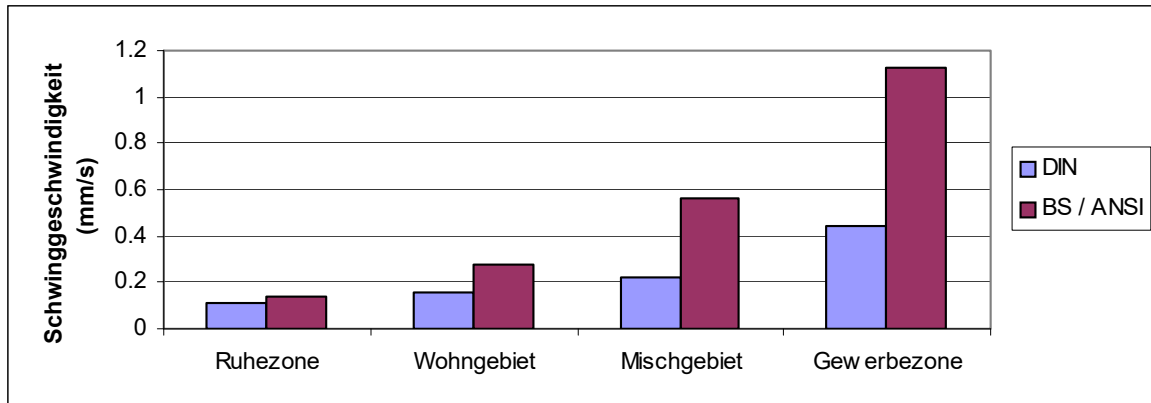
**Bild 7.2** Normenvergleich für Rammen

Bei häufiger auftretende Erschütterungen wie z.B. infolge Rammen ist die DIN-Norm offensichtlich wesentlich toleranter als die Normen BS und ANSI. Aus praktischer Erfahrung ist hier zu sagen, dass Erschütterungen mit  $v_{max}$  von 1 bis 1.5 mm/s infolge Rammen, wegen der beschränkten Dauer von Rammarbeiten, im allgemeinen keine Akzeptanzprobleme ergeben. Handelt es sich aber um Erschütterungen gleicher Intensität und gleicher Häufigkeit wie die beschriebenen Rammarbeiten, die jedoch von Industrieanlagen kommen, sind die Werte nach DIN doch eher als hoch einzustufen.

### 7.3 Dauererschütterung

**Tabelle 7.3** Normenvergleich für Dauererschütterung (tags)

	Normen		Normiert auf $v_{z,max}$	
	DIN 4150-2	BS 6472 ANSI S3.29	DIN 4150-2	BS 6472 ANSI S3.29
Immissionsort	$A_r$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$
Ruhezone	0.05	0.14	0.11	0.14
Wohngebiet	0.07	0.28	0.16	0.28
Mischgebiet	0.10	0.56	0.22	0.56
Gewerbezone	0.20	1.13	0.44	1.13



**Bild 7.3** Normenvergleich für Dauererschütterungen

Im Gegensatz zu den Rammerschütterungen sind bei den Dauererschütterungen die Verhältnisse umgekehrt. Die DIN-Norm ist hier wesentlich restriktiver als die BS- bzw. die ANSI-Norm.

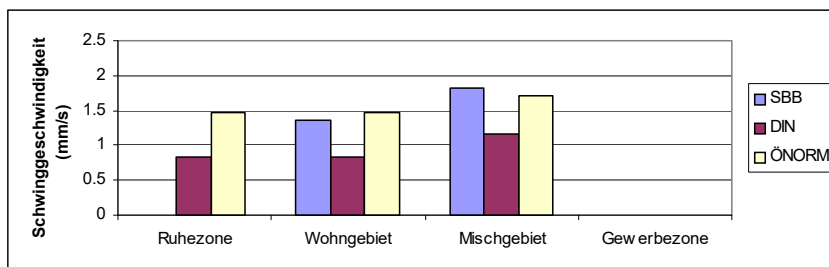
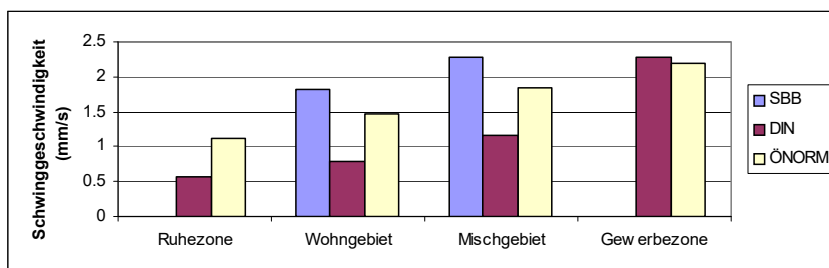
## 7.4 Schienenverkehr

**Tabelle 7.4a** Normenvergleich für Schienenverkehr – stark befahrene Strecke - tags

	Normen			Normiert auf $v_{z,max}$		
	SBB	DIN	ÖNORM	SBB	DIN	ÖNORM
Immissionsort	$V_E$	$KB_{Fmax}$	$K_{B,R}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$
Ruhezone		0.26	0.39		0.58	1.11
Wohngebiet	0.40	0.36	0.52	1.81	0.80	1.48
Mischgebiet	0.50	0.52	0.65	2.27	1.16	1.85
Gewerbezone		1.03	0.77		2.29	2.20

**Tabelle 7.4b** Normenvergleich für Schienenverkehr – stark befahrene Strecke - nachts

	Normen			Normiert auf $v_{z,max}$		
	SBB	DIN	ÖNORM	SBB	DIN	ÖNORM
Immissionsort	$V_E$	$KB_{Fmax}$	$K_{B,R}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$
Ruhezone		0.38	0.52		0.84	1.48
Wohngebiet	0.30	0.38	0.52	1.36	0.84	1.48
Mischgebiet	0.40	0.52	0.60	1.81	1.16	1.71
Gewerbezone		0.60	1.55		1.33	4.42



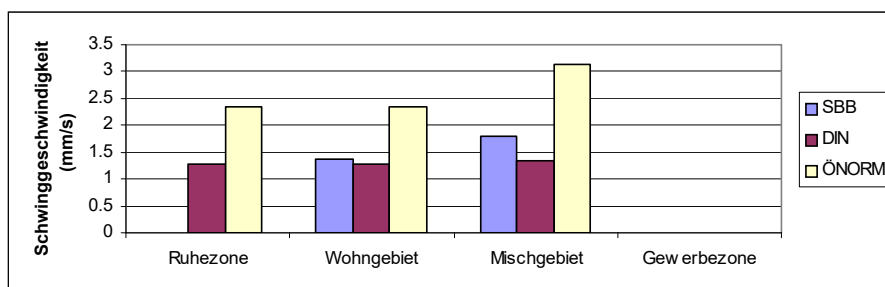
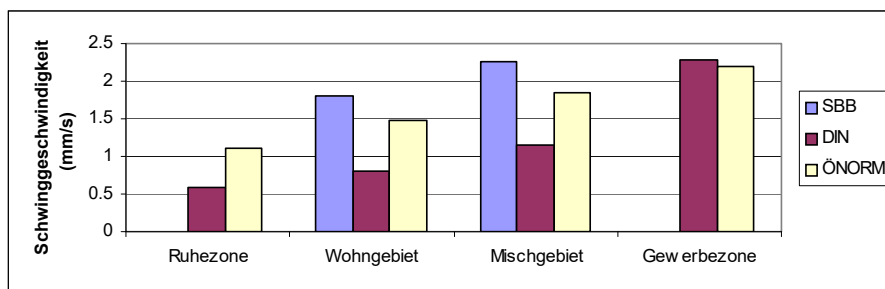
**Bild 7.4a,b** Normenvergleich für Schienenverkehr – stark befahrene Strecke

**Tabelle 7.5a** Normenvergleich für Schienenverkehr – schwach befahrene Strecke - tags

	Normen			Normiert auf $v_{z,max}$		
	SBB	DIN	ÖNORM	SBB	DIN	ÖNORM
Immissionsort	$V_E$	$KB_{Fmax}$	$K_{B,R}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$
Ruhezone		0.38	0.54		0.58	1.11
Wohngebiet	0.40	0.53	0.73	1.81	0.80	1.48
Mischgebiet	0.50	0.75	0.91	2.27	1.16	1.85
Gewerbezone		1.50	1.10		2.29	2.20

**Tabelle 7.5b** Normenvergleich für Schienenverkehr – schwach befahrene Strecke - nachts

	Normen			Normiert auf $v_{z,max}$		
	SBB	DIN	ÖNORM	SBB	DIN	ÖNORM
Immissionsort	$V_E$	$KB_{Fmax}$	$K_{B,R}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$	$v_{z,max}$
Ruhezone		0.58	0.82		1.29	2.34
Wohngebiet	0.30	0.58	0.82	1.36	1.29	2.34
Mischgebiet	0.40	0.60	1.10	1.81	1.33	3.14
Gewerbezone		0.60	2.45		1.33	7.00



**Bild 7.4a,b** Normenvergleich für Schienenverkehr – schwach befahrene Strecke

Der Vergleich zwischen den drei Richtwerten (SBB, DIN und ÖNORM) zeigen einige interessante Aspekte:

- Generell ergibt die DIN-Norm die tiefsten Richtwerte. Diese Werte sind zwischen 10 % und 50 % tiefer als die entsprechenden Werte der SBB und der ÖNORM.
- Bei stark befahrenen Strecken tags sind die Richtwerte nach SBB am höchsten. Bei schwach befahrenen Strecken nachts sind die Richtwerte nach ÖNORM am höchsten.
- Bei schwach befahrenen Strecken sind die zulässigen Immissionen eines einzelnen Zuges nach der DIN-Norm und noch ausgeprägter nach der ÖNORM nachts höher als am Tag.

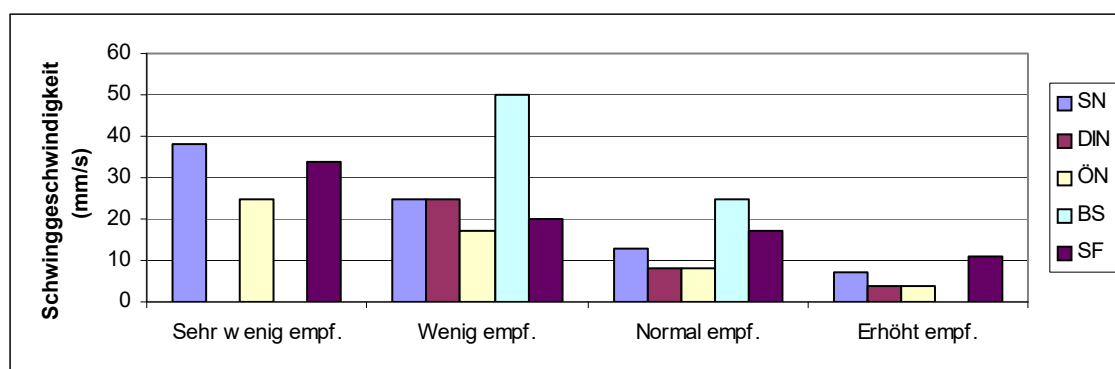
## 8 Normenvergleich für Einwirkungen auf Gebäude

### 8.1 Sprengen

Für den direkten Normenvergleich sind hier noch einige Annahmen bezüglich Hauptfrequenz, Baugrundeigenschaften und Distanz zum Sprengort zu treffen. Es wird vorausgesetzt, dass die Hauptfrequenz bei 20 Hz liegt, dass das Gebäude auf Moräne fundiert ist und in einer Distanz von 100 m vom Sprengort befindet.

**Tabelle 8.1** Normenvergleich für Sprengen

	Normen					Normiert auf $v_{z,max}$				
	SN	DIN	ÖN	BS	FL <sup>1)</sup>	SN	DIN	ÖN	BS	FL <sup>1)</sup>
Empfindlichkeit	$v_{res}$	$v_{i,max}$	$v_{res}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$
Sehr wenig	45		30		34	38		25		34
Wenig empf.	30	25	20	50	20	25	25	17	50	20
Normal empf.	15	8	10	25	17	13	8	8	25	17
Erhöht empf.	8	4	5		11	7	4	4		11



**Bi**

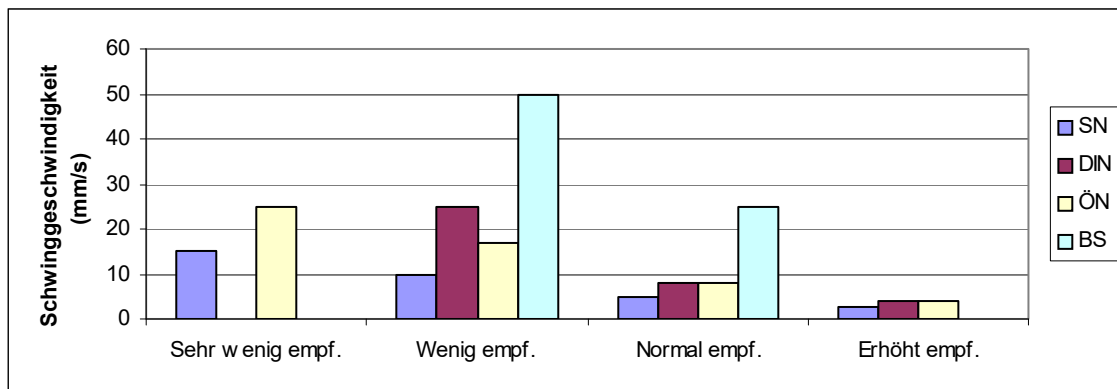
### Id 8.1 Normenvergleich für Sprengen

Der Vergleich in Bild 8.1 zeigt, dass mit Ausnahme der Britischen Norm (BS) alle Normen etwa die gleichen Richtwerte für das Vermeiden von Bauschäden infolge Sprengen anwenden. Für „normal empfindliche“ Gebäude liegt dieser Wert zwischen 8 und 17 mm/s.

## 8.2 Rammen

**Tabelle 8.2** Normenvergleich für Rammen

	Normen				Normiert auf $v_{z,max}$			
	SN	DIN	ÖN	BS	SN	DIN	ÖN	BS
Empfindlichkeit	$v_{res}$	$v_{i,max}$	$v_{res}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$
Sehr wenig empf.	18		30		15		25	
Wenig empf.	12	25	20	50	10	25	17	50
Normal empf.	6	8	10	25	5	8	8	25
Erhöht empf.	3	4	5		2.5	4	4	



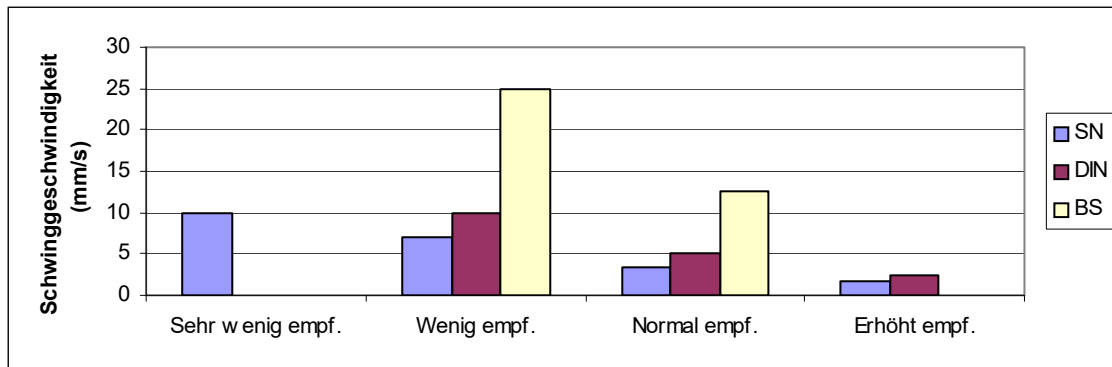
**Bild 8.2** Normenvergleich für Rammen

Auch für Rammerschütterungen zeigt sich für „normal empfindliche“ Gebäude, mit Ausnahme der Britischen Norm, eine gute Uebereinstimmung zwischen den Normen. Der zulässige Wert liegt zwischen 5 und 8 mm/s.

### 8.3 Dauererschütterung

**Tabelle 8.3** Normenvergleich für Dauererschütterung mit Frequenzen zwischen 30 und 60 Hz

	Normen			Normiert auf $v_{z,max}$		
	SN	DIN <sup>1)</sup>	BS	SN	DIN <sup>1)</sup>	BS
Empfindlichkeit	$v_{res}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$	$v_{i,max}$
Sehr wenig empf.	12			10		
Wenig empf.	8	10	25	7	10	25
Normal empf.	4	5	12.5	3.3	5	12.5
Erhöht empf.	2	2.5		1.7	2.5	



**Bild 8.3** Normenvergleich für Dauererschütterung mit Frequenzen zwischen 30 und 60 Hz

Auch für Dauererschütterungen zeigt sich für „normal empfindliche“ Gebäude, mit Ausnahme der Britischen Norm, eine gute Übereinstimmung zwischen den Normen. Der zulässige Wert liegt zwischen 3 und 5 mm/s.