

Mechanische Schwingungen
Erschütterungen durch unterirdische Schienenbahnen
Teil 1: Allgemeine Hinweise zu Prognosemodellen
(ISO/DIS 14837-1)

DIN
ISO 14837-1

ICS 17.160

Einsprüche bis 2003-06-30

Entwurf

Mechanical vibration —
Groundborne vibration arising from rail systems in tunnels —
Part 1: Guidance on prediction models (ISO/DIS 14837-1)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nals@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Das internationale Schriftstück ISO/DIS 14837-1 „Mechanical vibration — Groundborne vibration arising from rail systems in tunnels — Part 1: Guidance on prediction models“, das im Mai 2002 vom ISO/TC 108/SC 2 zur Herausgabe als ISO/DIS verabschiedet wurde, ist unverändert in diesen deutschen Norm-Entwurf übernommen worden.

Nationales Vorwort

Das internationale Schriftstück ISO/DIS 14837-1 „Mechanical vibration — Groundborne vibration arising from rail systems in tunnels — Part 1: Guidance on prediction models“ ist vom ISO/TC 108/SC 2 „Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures“ unter deutscher Beteiligung erarbeitet worden. Die deutsche Übersetzung wurde im Gemeinschaftsausschuss NALS/VDI C 15 „Schwingungsminderung in der Umgebung von Verkehrswegen“ ausgearbeitet.

Fortsetzung Seite 2 bis 42

Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

Deutsche Übersetzung

Mechanische Schwingungen

Erschütterungen durch unterirdische Schienenbahnen

Teil 1: Allgemeine Hinweise zu Prognosemodellen

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Übersicht über Erschütterungen und sekundären Luftschall	6
4.1 Relevante Gegebenheiten	6
4.2 Entstehung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall	7
4.3 Ausbreitung	10
4.4 Empfänger	11
5 Auswirkung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Wahrnehmung von Erschütterungen (1 Hz bis 80 Hz)	11
5.3 Wahrnehmung von sekundärem Luftschall (25 Hz bis 250 Hz)	12
5.4 Auswirkung auf Gebäude (1 Hz bis 500 Hz)	12
5.5 Auswirkung auf hochempfindliche Geräte (1 Hz bis 500 Hz)	12
6 Zielgrößen der Prognose	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Wahrnehmung von Erschütterungen	13
6.3 Wahrnehmung von sekundärem Luftschall	13
6.4 Auswirkung auf Gebäude	14
6.5 Auswirkung auf hochempfindliche Geräte	14
7 Konzeption eines Modells	14
7.1 Modellentwicklung	14
7.2 Prognoseziel	15
8 Prognosemodelle	20
8.1 Allgemeines	20
8.2 Analytische Modelle	20
8.3 Empirische Modelle	22
8.4 Halbempirische Modelle	23
9 Entwicklung, Kalibrierung, Überprüfung und Nachprüfung	24
Anhang A (normativ) Parameter-Checkliste	25
Anhang B (informativ) Minderung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall	30
Anhang C (informativ) Vorgehensweisen und Hilfsmittel bei der Entwicklung, Kalibrierung, Überprüfung und Nachprüfung	37
Literaturhinweise	42

Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitglieds Körperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitglieds Körperschaft, die sich für ein Thema interessiert, für das ein Technisches Komitee eingesetzt wurde, ist berechtigt, in diesem Komitee mitzuarbeiten. Internationale (staatliche und nicht-staatliche) Organisationen, die mit der ISO in Verbindung stehen, sind an den Arbeiten ebenfalls beteiligt. Die ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) auf allen Gebieten elektrotechnischer Normung zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2, erstellt.

Die wesentliche Aufgabe Technischer Komitees besteht in der Erarbeitung Internationaler Normen. Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitglieds Körperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitglieds Körperschaften.

Es besteht die Möglichkeit, dass Bestandteile dieses Dokuments Gegenstand von Patentrechten sind. Die ISO hat nicht die Verantwortung, das Vorhandensein einzelner oder aller dieser Patentrechte festzustellen.

ISO 14837-1 ist vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration and shock“, Unterkomitee SC 2 „Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures“ erarbeitet worden.

ISO 14837 besteht aus den folgenden Teilen mit dem Titel „Mechanische Schwingungen — Erschütterungen durch unterirdische Schienenbahnen“:

- Teil 1: Allgemeine Hinweise zu Prognosemodellen
- Teil 2: Allgemeine Hinweise zu Messungen zum Zwecke der Modellentwicklung, -kalibrierung und -überprüfung
- Teil 3: Allgemeine Hinweise zu zulässigen Werten für Erschütterungen und sekundären Luftschall
- Teil 4: Allgemeine Hinweise zur Minderung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall durch die Wartung der Schienenbahn
- Teil 5: Prognosemodelle (analytische, empirische und semi-empirische)

Einleitung

Viele, wenn nicht sogar alle landgestützten Transportsysteme können Erschütterungen und/oder Körperschall erzeugen. Schienenbahnen sind dabei mit Abstand die häufigste und wesentlichste Quelle, da bei ihnen Stahlräder auf Stahlschienen laufen.

Alle Arten von unterirdischen Schienenbahnen (Bahnsysteme in Tunneln) verursachen Erschütterungen und/oder Körperschall, was insbesondere im städtischen Raum unerwünschte Umweltauswirkungen haben kann. In bestimmten Fällen kann eine Beurteilung der zu erwartenden Erschütterungen und des Schwingungsverhaltens von Bauwerken in verschiedenen Abständen zur Erschütterungsquelle erforderlich werden. Diese Aufgabe kann sich im Zusammenhang mit der Planung ergeben, wenn

- a) Neu- oder Ausbauten von unterirdischen Bahnen bzw. Neu- oder Umbauten von Gebäuden beabsichtigt sind;
- b) Veränderungen im dynamischen Verhalten des Oberbaus oder der Züge erwogen werden;
- c) Änderungen des Zugbetriebs geplant sind (z. B. Zuglänge, Fahrgeschwindigkeit, Zugfolge);
- d) Maßnahmen zur Erschütterungsminderung bewertet werden sollen.

Eine geeignete Prognose der Erschütterungen und/oder des sekundären Luftschalls ist der erste von zwei wesentlichen Bausteinen zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkung neuer oder umgebauter unterirdischer Bahnsysteme auf vorhandene Gebäude oder der Einwirkung auf neue Gebäude über vorhandenen unterirdischen Schienenbahnen. Kriterien und/oder -grenzwerte für die Erschütterungen und/oder den sekundären Luftschall in dem Gebäude sind der zweite Baustein der Beurteilung. Kriterien und Grenzwerte sind in nationalen und anderen Internationalen Normen festgelegt^{N1)}.

Die Prognose der von unterirdischen Schienenbahnen ausgehenden Erschütterungen und/oder des sekundären Luftschalls ist ein komplexes und in Entwicklung begriffenes Fachgebiet. Dieser Teil von ISO 14837 gibt an, welche wesentlichen Aspekte bei der Entwicklung von Prognosemodellen zu berücksichtigen sind, damit diese zweckdienlich sind und in ihrer Herangehensweise besser übereinstimmen. ISO 14837-5, die sich derzeit in Vorbereitung befindet, enthält detaillierte Hinweise zu Prognosemodellen.

Zur Kalibrierung und Überprüfung eines Modells und der Nachprüfung seiner Umsetzung, die wichtige Schritte zur Quantifizierung und Verbesserung der Modellgenauigkeit sind, werden Hinweise gegeben.

N1) Nationale Fußnote: Siehe dazu z. B. Normen der Reihe DIN 4150.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 14837 enthält Hinweise zur Prognose der von unterirdischen Schienenbahnen verursachten Erschütterungen und des sekundären Luftschalls in Gebäuden.

Dieser Teil von ISO 14837 listet die zu berücksichtigenden Faktoren und Parameter auf und enthält einen Leitfaden zu Prognoseverfahren, die sich für eine Reihe von Aufgabenstellungen eignen, z. B. für Prognosen zur Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen und empfindliche Geräte oder Arbeitsabläufe in Gebäuden sowie für Voraussagen, die erforderlich sind, um das Risiko von Schäden an Gebäudestrukturen zu beurteilen.

Dieser Teil von ISO 14837 konzentriert sich auf die Eigenschaften der Erschütterungsquelle (Emission, z. B. Zug, Rad, Schiene, Oberbau, Tunnel), des Ausbreitungswegs (Transmission, z. B. Bodenverhältnisse, Entfernung) und der Empfängerbauwerke (Immission, z. B. Fundament, Art der Gebäudekonstruktion).

Die gegebenen Hinweise betreffen alle Arten von Stahlrädern und Bahnsystemen – von leichten Bahnen bis zu Hochgeschwindigkeits- und Güterzügen. Dieser Teil von ISO 14837 enthält auch Hinweise, die auf oberirdische Schienenbahnen und auf solche zutreffen, bei denen die Räder Luftreifen haben.

ANMERKUNG Stahlräder schließen elastische Räder ein, d. h. solche, bei denen sich zwischen dem Radreifen und der Radscheibe ein elastisches Element befindet.

Dieser Teil von ISO 14837 behandelt weder die Erschütterungen, die beim Tunnelbau entstehen, noch den Luftschall innerhalb des Tunnels. Auch die Prognose der Erschütterungen und/oder des sekundären Luftschalls, die durch Instandsetzungsarbeiten entstehen, wird nicht behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 2631-1, *Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements*

ISO 2631-2, *Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*

ISO 4866, *Mechanical vibration and shock — Vibration of buildings — Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

sekundärer Luftschall

hörbares Rumpeln, das in einem Gebäude durch die Vorbeifahrt eines Zuges erzeugt wird

ANMERKUNG Eine alternative Bezeichnung ist körperschallerregter Luftschall.

3.2

Parameter

Faktor oder Funktion in einem mathematischen Modell zur Beschreibung des physikalischen Verhaltens eines mechanischen Elements (oder einer Eigenschaft)

3.3**Komponente**

hauptsächlich (oder elementares) Element des gesamten physikalischen Systems

3.4**Modellentwicklung**

Erstellung eines Modells einer physikalischen Struktur

ANMERKUNG Die Modellentwicklung ist ein iterativer Prozess, bei dem ein Parameter, eine Komponente oder das ganze Modell verändert wird, um eine bessere Übereinstimmung zwischen prognostizierten und gemessenen Werten zu erzielen.

3.5**Modellkalibrierung**

Auswertung eines Vergleichs der Ergebnisse von Teilen des mathematischen Modells oder des ganzen mathematischen Modells mit entsprechenden Messungen an der physikalischen Struktur

3.6**Modellüberprüfung**

Vergleich zwischen den Ergebnissen des kalibrierten Modells und Messwerten, die unabhängig von den zur Kalibrierung verwendeten Daten sind

3.7**Modellnachprüfung**

Vergewisserung, dass sich die mathematischen Elemente des Modells wie beabsichtigt verhalten

3.8**Zielgröße**

Größe, die prognostiziert oder gemessen wird

3.9**Einfügungsdämmung**

Differenz zwischen dem Wert einer Zielgröße vor und nach einer Veränderung am System^{N2)}

ANMERKUNG Eine Verringerung des Werts der Zielgröße wird durch ein negatives Vorzeichen angezeigt.

4 Übersicht über Erschütterungen und sekundären Luftschall

4.1 Relevante Gegebenheiten

Erschütterungen und/oder sekundärer Luftschall können Auswirkungen auf Menschen in Gebäuden haben, hochempfindliche Geräte oder ihr Betrieb können ebenfalls beeinträchtigt werden. Im Extremfall können Erschütterungen das Risiko einer Beschädigung von Gebäuden und anderen Bauwerken mit sich bringen.

Dieser Teil von ISO 14837 ist ein Leitfaden zur Erstellung von Prognosemodellen, mit denen sich die Einwirkung von Schwingungen auf Menschen (jedoch nicht auf Tiere) und auf hochempfindliche Geräte in Gebäuden sowie auf die Gebäude selbst beurteilen lässt.

Menschen nehmen Schwingungen abhängig von ihrem Frequenzbereich in verschiedenen Formen wahr: als mechanische Schwingungen des Körpers (relevanter Frequenzbereich 1 Hz bis 80 Hz) und/oder als sekundärer Luftschall, der von schwingenden Bauteilen eines Gebäudes (Wände, Decke usw.) abgestrahlt wird (relevanter Frequenzbereich 25 Hz bis 250 Hz).

N2) Nationale Fußnote: In der Schwingungstechnik ist das Verhältnis des Werts vor einer Veränderung am System zum Wert danach üblich, sodass eine Verringerung zu einer Einfügungsdämmung größer eins führt (siehe DIN 45673-1:2000-05, 3.1.28).

ANMERKUNG 1 Unter außergewöhnlichen Umständen können auch Frequenzen bis hinunter zu 16 Hz oder bis hinauf zu 500 Hz für den sekundären Luftschall relevant sein.

ANMERKUNG 2 Höhere Frequenzen werden von leicht beweglichen Einrichtungsgegenständen abgestrahlt (z. B. Gläser, Teller, Fensterscheiben). Dieser Schallentstehungsmechanismus wird nicht in diesem Teil von ISO 14837, sondern in ISO 2631-2 behandelt.

Schwingungen in Gebäuden können technische Einrichtungen, z. B. empfindliche Messgeräte oder Fertigungsprozesse, beeinträchtigen. Der relevante Frequenzbereich liegt zwischen 1 Hz und 500 Hz.

Der für eine Untersuchung des Risikos von schwingungsbedingten Schäden an Bauwerken relevante Frequenzbereich ist 1 Hz bis 500 Hz, allerdings verursachen die Schwingungen mit tiefen Frequenzen hohe Beanspruchungen und bedingen damit ein höheres Schadensrisiko.

4.2 Entstehung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall

4.2.1 Allgemeines

Unterirdische Schienenbahnen stellen eine Erschütterungsquelle dar. Die Erschütterungen werden durch den Oberbau geleitet, verändert und in den Tunnel, das umgebende Erdreich und benachbarte Gebäude übertragen, wo sie wahrnehmbare Schwingungen und/oder hörbaren Luftschall verursachen können. Dieses System aus Quelle, Ausbreitungsweg und Empfänger ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Ursprung der Schwingungen ist die in Bild 2 gezeigte und nachstehend erörterte Wechselwirkung zwischen Rad und Schiene.

Bei der Prognose der Erschütterungen und/oder des sekundären Luftschalls von unterirdischen Schienenbahnen sollte beachtet werden, dass Emission, Transmission und Immission der Schwingungen von zahlreichen Parametern abhängig sind (siehe Anhang A), die unterschiedliche Signifikanz aufweisen. Diese Parameter sind entweder aus der Erfahrung, aus Angaben in der Literatur, durch Sachverständige oder durch Messungen vor Ort zu bestimmen.

Die anzustrebende Genauigkeit des Prognosemodells richtet sich nach dem Zweck der Prognose und ist durch die Kenntnis und das Verständnis der Systemparameter begrenzt.

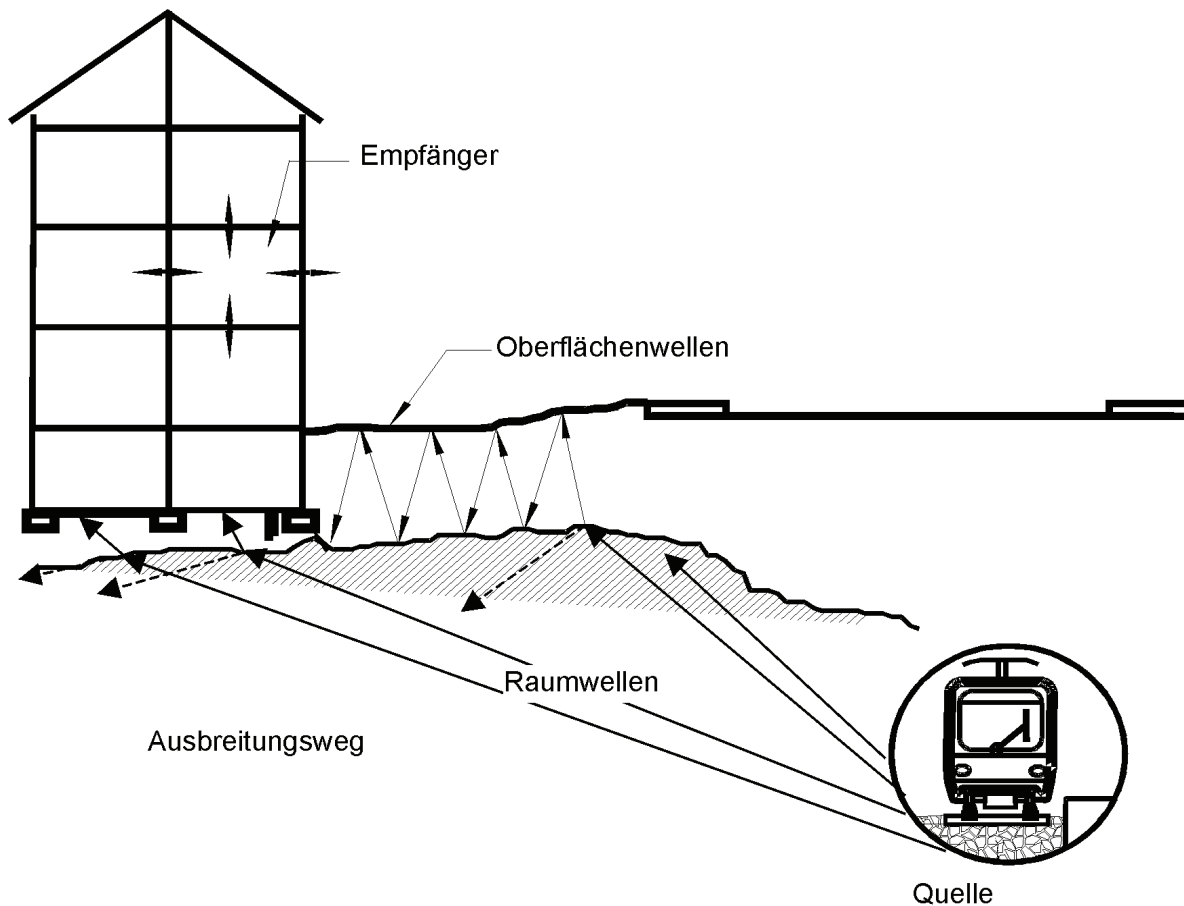


Bild 1 — System aus Quelle, Ausbreitungsweg und Empfänger

4.2.2 Anregungsmechanismen

- a) Anregung durch die Rauigkeit von Rad und Schiene: Stochastische Unregelmäßigkeiten der Kontaktflächen von Rad und Schiene stellen eine äußere Erregung des Systems Fahrzeug/Fahrweg dar. Die Rauigkeit entsteht bei der Fertigung. Es ist zu berücksichtigen, dass die Rauigkeit im Betrieb variiert und sich mit der Zeit verändert.
- b) Parametererregung: Bei Gleisen mit diskreter Schienenlagerung (z. B. Schwellen auf Schotter, elastische Schienenstützpunkte im Gegensatz zu kontinuierlich gelagerten eingebetteten Schienen) „spürt“ das Rad je nach seiner Position entlang der Schiene eine sich verändernde Steifigkeit. Diese ortsveränderlichen dynamischen Kräfte regen Fahrzeug und Fahrweg an. Die Fahrgeschwindigkeit und der Abstand der Schienenstützpunkte bestimmen die Schwellenfachfrequenz. In ähnlicher Weise entstehen weitere harmonische Komponenten aufgrund von Radsatz- und Drehgestellabständen. Wenn diese Frequenzen mit Eigenfrequenzen des Fahrzeugs und des Systems Fahrzeug/Fahrweg zusammenfallen, kann es zu einer erheblichen Anregung des Oberbaus und der Umgebung kommen.

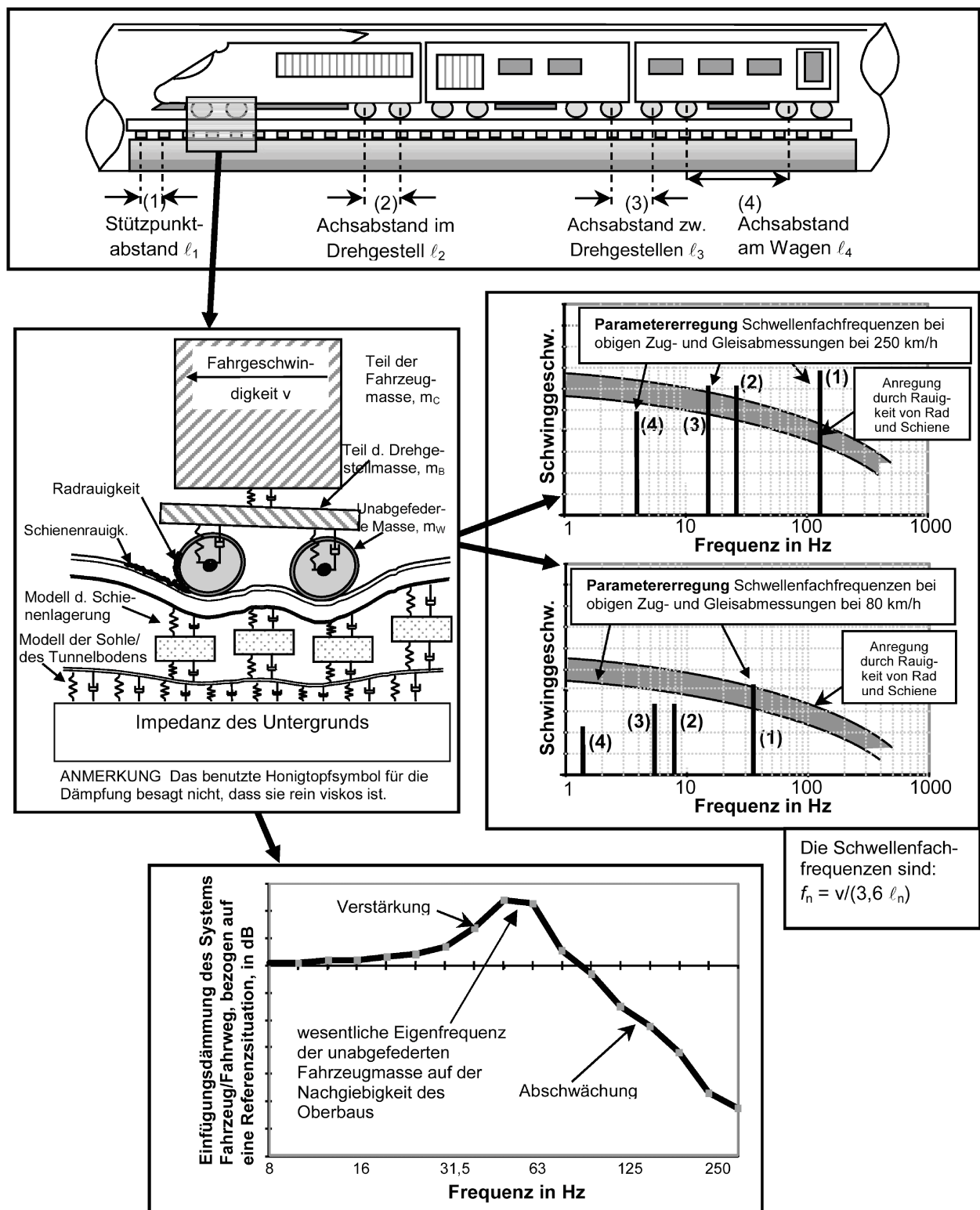


Bild 2 — Beschreibung der Erschütterungsquelle

- c) Zusätzliche Defekte von Rad und Schiene: Unter bestimmten Umständen können als Folge des Bahnbetriebs stärkere Ausprägungen der Rauigkeit von Rad und Schiene bestehen. Die stärkste Ausprägung der Schienenrauigkeit sind Riffeln. Diese bestehen aus überlagerten periodischen Unregelmäßigkeiten und unterschiedlichen Wellenlängen. Auch bei Rädern können Riffeln auftreten ebenso wie andere

extreme Formen von „Rauigkeit“, die von einzelnen oder mehreren Flachstellen, Poligonalisierung, Unwucht und Exzentrizität des Rades herrühren. Diese Unregelmäßigkeiten verändern sich im Betrieb mit der Zeit.

- d) Diskontinuität des Fahrwegs: Lücken an Weichen, an Schienenstößen, unabgestützte Schienen usw. führen zu Stoßkräften. Wenn die Länge der verschraubten oder verschweißten Schienenstücke gleich dem Drehgestellabstand der Fahrzeuge ist, können die Schwingungen deutlich anwachsen.
- e) Fahrzeugfederung
- f) Anregung durch ortsveränderliche Belastung (quasistatische Erregung): Die Einfederung von Fahrweg und Unterbau aufgrund der überrollenden Belastung durch den Zug. An festen Punkten ist dies ein zeitabhängiger dynamischer Vorgang, der zu Biegewellen im Oberbau und im Boden (Untergrund) führt. Bei Hochgeschwindigkeitszügen und weichem Boden kann die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Rayleigh-Welle (Oberflächenwelle) des Bodens überschritten werden. Werden keine Minderungsmaßnahmen getroffen, führt das zu einer Wellenfront mit sehr starken Erschütterungen ähnlich dem Überschallknall bei Überschallflugzeugen. Die Auswirkungen im Nahfeld auf die Stabilität des Oberbaus sind erheblich. Dieses Problem wird jedoch durch konstruktive Maßnahmen in der Weise gelöst, dass das Gleisbett auf Boden mit erhöhter Steifigkeit oder auf Gleistragplatten verlegt wird, deren Gründungspfeiler bis in tiefer liegende, steifere Bodenschichten reichen. Bei Tunneln stellen die Wände und die Sohle die steife Gründung dar, durch die die Erschütterungen im umgebenden Boden vermindert werden.
- g) Härte des Stahls: Unregelmäßige oder periodische Veränderungen der Härte der Laufflächen, die bei der Fertigung oder – häufiger – im Betrieb entstehen.
- h) Laterale Belastungen: Insbesondere aufgrund der Spurführung in engen Kurven und durch Weichen.
- i) Fahrbedingungen: Beschleunigen und Abbremsen des Zuges erzeugt dynamische Kräfte, die Schwingungen verursachen.
- j) Extreme Umweltbedingungen: Beispielsweise beeinflussen Schienenkopftemperatur und Feuchtigkeit den Verschleiß und damit die Schwingungen.

Bei den unter a) und j) beschriebenen Anregungsmechanismen entstehen die Schwingungen ausschließlich als Folge der endlichen Eingangsimpedanz der Kontaktfläche zwischen Radkranz und Schienenkopf.

Die Impedanz am Schienenkopf wird hauptsächlich durch den Oberbau bestimmt, wird aber auch von der Tunnelsohle, dem Tunnel und insbesondere dem umgebenden Boden (Untergrund) beeinflusst.

Bei den hier interessierenden Frequenzen wird die Impedanz am Radkranz hauptsächlich durch die unabgefederte Fahrzeugmasse bestimmt. Die Gesamtmasse des Fahrzeugs einschließlich Beladung kann jedoch dann von Bedeutung sein, wenn die Federung so gut wie starr ist (z. B. aufgrund fehlender Wartung oder des Verhaltens der Dämpfer bei hohen Frequenzen).

4.3 Ausbreitung

Die Ausbreitung der Erschütterungen im Boden (Untergrund) erfolgt durch Druck- und Scherwellen. In einiger Entfernung vom Tunnel und je nach Tunneltiefe können Oberflächenwellen (meist Rayleigh-Wellen) überwiegen.

Der für Erschütterungen und sekundären Luftschall in einem Gebäude interessierende Frequenzbereich liegt bei etwa 1 Hz bis 250 Hz. Bei bestimmten Bodenverhältnissen (z. B. Fels), bei direktem Kontakt von Gebäude und Tunnel oder bei sehr geringer Entfernung zwischen Tunnel und Gebäude können höhere Frequenzen übertragen werden.

Die Tiefpassfilterwirkung des Systems Fahrzeug/Fahrweg schwächt die Frequenzen im oberen Bereich des relevanten, in diesem Teil von ISO 14837 betrachteten Frequenzbereich ab. Aufgrund von Effekten, wie der Dämpfung im Boden, ändert das Frequenzspektrum seine Form mit zunehmender Entfernung, sodass in größerer Entfernung die tieferen Frequenzen überwiegen können.

Wenn Empfängergebäude direkten Kontakt zum Tunnel hat, d. h. der Tunnel Teil des Gebädefundaments ist, verläuft der Ausbreitungsweg hauptsächlich durch die Gebäudestruktur. In diesem Fall sollte das Prognosemodell das dynamische Verhalten der Gebäudestruktur berücksichtigen. Die Ausbreitung erfolgt zudem nicht nur über Kompressions- und Scherwellen, sondern auch über Biegewellen.

ANMERKUNG 1 Künstliche Bauwerke im Boden (Untergrund), wie Tunnel, Versorgungsleitungen, Bodenbehandlungen und/oder -anker, sollten beachtet und ihre Auswirkung auf die Wellenausbreitung berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Es ist notwendig, die Dämpfung des Untergrunds genau zu betrachten. Starke Vereinfachungen sollten nur mit Vorsicht vorgenommen werden, etwa die Annahme rein viskoser Dämpfung, da dies besonders bei hohen Frequenzen signifikante Abweichungen bei den prognostizierten Werten ergeben kann. Der Grad der Notwendigkeit, dieses Problem zu berücksichtigen und der dann eingeschlagene Weg hängt von der Art des Modells ab. Weitere Hinweise werden in Abschnitt 8 gegeben.

4.4 Empfänger

Der für die Immission (Erschütterungen und sekundärer Luftschall) in einem Gebäude interessierende Frequenzbereich liegt bei etwa 1 Hz bis 250 Hz. Bei bestimmten Bodenverhältnissen (z. B. Fels), bei direktem Kontakt von Gebäude und Tunnel oder bei sehr geringer Entfernung zwischen beiden können höhere Frequenzen übertragen werden.

Das Prognosemodell sollte die Übertragungsfunktion zwischen dem Fernfeld und dem Gebädefundament berücksichtigen. Ebenso sollte es das Schwingungsverhalten von solchen Gebäudebauteilen (z. B. Geschossdecken) als Funktion der Frequenz berücksichtigen, die die auftreffenden Erschütterungen verstärken oder auch abschwächen können.

Schwingungen können in Räumen in Form von Luftschall abgestrahlt werden, dessen räumliche Verteilung nicht gleichmäßig ist. Der Luftschall ist vom Abstrahlgrad der Gebäudestruktur und von der Nutzung des Raums abhängig; beides sind Funktionen der Frequenz.

ANMERKUNG Die Modellierung des Empfängers sollte die Form und nutzungsabhängige Ausstattung des Gebäudes angemessen erfassen, beispielsweise kann es notwendig sein, Wohnräume anders als Hallen, etwa Hörsäle, zu modellieren.

5 Auswirkung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall

5.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält Angaben zur Auswirkung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Gebäude, Menschen und empfindliche Geräte sowie den jeweils relevanten Frequenzbereich. Außerdem stellt er die Stärke der von unterirdischen Schienenbahnen ausgehenden Erschütterungen und des sekundären Luftschalls in einen Kontext.

5.2 Wahrnehmung von Erschütterungen (1 Hz bis 80 Hz)

Erschütterungen in Gebäuden können als Bauwerksschwingungen vom Menschen wahrgenommen werden und sich auf mehrere Arten auf sie auswirken. So kann die Lebensqualität ebenso herabgesetzt werden wie die Arbeitseffizienz. Diese Auswirkungen werden in ISO 2631-2 behandelt. Die Stärke der in Gebäuden in der Nähe von unterirdischen Schienenbahnen induzierten Schwingungen kann derart sein, dass sie (in der Reihenfolge der Stärke) Belästigung, Komforteinbußen, Störung von Aktivitäten und im Extremfall Gesundheitsschäden verursachen.

ISO 2631-2 enthält eine Frequenzbewertungskurve für die Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen in Gebäuden und Anleitungen zur Bewertung von Beschwerden.

5.3 Wahrnehmung von sekundärem Luftschall (25 Hz bis 250 Hz)

Sekundärer Luftschall tritt auf, wenn Erschütterungen in häufig nicht wahrnehmbarer Stärke Schwingungen von Gebäudebauteilen verursachen, die dann ein hörbares „Rumpeln“ erzeugen, meist durch Abstrahlung in das Rauminnere. Sekundärer Luftschall spielt vor allem bei unterirdischen Schienenbahnen eine Rolle, da – anders als bei oberirdischen Bahnen – jeglicher Luftschall im Tunnel gegenüber dem Gebäude abgeschirmt ist.

ANMERKUNG Die Wahrnehmung von sekundärem Luftschall erfolgt primär durch die Luft, wenngleich ein im Bett liegender Mensch Körperschall auch von wesentlich geringerer Stärke, der durch das Bettgestell übertragen wird, wahrnehmen kann.

Sekundärer Luftschall kann Belästigung oder Störung von Aktivitäten verursachen. Stärkerer sekundärer Luftschall kann Schlafstörungen bedingen.

5.4 Auswirkung auf Gebäude (1 Hz bis 500 Hz)

Extrem starke Erschütterungen oder eine hohe Anzahl von Schwingungsperioden können unter außergewöhnlichen Umständen das Risiko von Schäden an der Gebäudestruktur entweder durch direkte Belastung/Beanspruchung von Bauteilen oder durch induzierte Setzungen auf weichem Boden bergen. Die dazu erforderliche Erschütterungsstärke ist in der Größenordnung 10- bis 100-mal größer als die Wahrnehmungsschwelle des Menschen, sodass die Erschütterungsstärke, die ein Gebäude, wenn auch nur äußerlich, beschädigen könnte, für Menschen in dem Gebäude unerträglich wäre. Weitere Hinweise hierzu siehe ISO 4866.

ANMERKUNG 1 Das Risiko schwingungsbedingter Gebäudeschäden, das mit dem Bahnbetrieb in Verbindung gebracht wird, ist im Kontext des viel größeren Risikos von Schäden an Bauwerken durch Setzungen während und nach der Bauphase zu sehen.

ANMERKUNG 2 Es kann Auswirkungen auf andere Bauwerke geben (z. B. Nachbartunnel, Versorgungseinrichtungen), die eventuell zu berücksichtigen sind.

5.5 Auswirkung auf hochempfindliche Geräte (1 Hz bis 500 Hz)

Häufig werden Bedenken über die möglichen Auswirkungen von Erschütterungen auf Geräte und ihren Betrieb geäußert (etwa elektrische Relais und Computergeräte wie Festplattenlaufwerke). ISO 8569 und ISO/TS 10811 behandeln dieses Thema. Generell wird jedoch die überwiegende Anzahl solcher Geräte von den Erschütterungsstärken, die von unterirdischen Schienenbahnen ausgehen oder durch die sich Menschen bereits gestört fühlen, nicht beeinträchtigt. So sind zum Beispiel die Schwingungen und Stöße, denen Computeranlagen in ihrer Betriebsumgebung ausgesetzt sind (z. B. durch Umherlaufen oder das Zuschlagen von Türen), wesentlich stärker als aus Umweltquellen.

Es gibt jedoch eine Reihe sehr schwingungsempfindlicher Geräte und besonderer Arbeitsabläufe, z. B. die Herstellung von Mikroprozessoren, bestimmte Arten der Lasertechnologie, empfindliche Laborgeräte und ihr Betrieb (z. B. Mikroskopie und Spektroskopie) sowie manche chirurgischen Eingriffe.

Sehr geringe Erschütterungsstärken, deutlich unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsschwelle, können diese Arten von Geräten und ihren Betrieb stören. Die wesentlichste Form der Störung ist die Beeinträchtigung der Messung, Positionierung und Fokussierung der Geräte sowie der Tätigkeiten der Beschäftigten bei der Durchführung dieser Aufgaben.

Solche Geräte sind durch eine aufwendige Konstruktion gegen Erschütterungen abzuschirmen, beispielsweise durch Schwingungsentkopplung von ihren Tragkonstruktionen, sehr steife und schwere Fußböden oder schwingungsisierte Fußböden.

Erschütterungen von Schienenbahnen können selber eine störende Stärke erreichen oder zu dem im Gebäude vorhandenen allgemeinen Schwingungsniveau in der Weise beitragen, dass Störungen verursacht werden. Bei hochempfindlichen Geräten und Arbeitsabläufen werden in der Regel spezielle Maßnahmen gegen Schwingungen ergriffen, z. B. Entkopplung empfindlicher Geräte vom Fußboden, Einsatz von sehr steifen und schweren Fußböden, sanft schließende Türen, Bedämpfung des Tritts (Bodenbelag und Schuh-

werk) sowie Isolierung von Stromerzeugungsaggregaten und der technischen Gebäudeausrüstung von den Empfängerräumen innerhalb desselben Gebäudes. Die Fußbodenkonstruktion und die Geräteisolierung verringern auch die Auswirkung von Schienenverkehrserschütterungen. Es empfiehlt sich, die von einem neuen Bahnprojekt verursachte Erschütterungsstärke auf dem Fußboden eines Labors mit derjenigen von gebäudeinternen Aktivitäten zu vergleichen.

Es gibt nur wenige Internationale Normen, die sich speziell auf empfindliche Geräte und/oder ihren Betrieb beziehen. In der Regel gibt der Hersteller Grenzwerte für die Betriebsfähigkeit an, oder der Benutzer legt per Spezifikation oder aus Erfahrung eigene Grenz- oder Sollwerte fest.

6 Zielgrößen der Prognose

6.1 Allgemeines

Die Zielgrößen der Prognose einschließlich der zugehörigen Messbedingungen, die zur Quantifizierung der Auswirkung von Erschütterungen und/oder sekundärem Luftschall auf den Menschen, auf Gebäude und auf empfindliche Geräte verwendet werden, müssen genau festgelegt werden.

6.2 Wahrnehmung von Erschütterungen

Einschlägige Anleitungen sind in ISO 2631-1 und ISO 2631-2 enthalten. Danach sollte die Einwirkung und Wahrnehmung von Ganzkörper-Schwingungen (Erschütterungen) auf den Menschen in Gebäuden prinzipiell als breitbandig gemessener (und als gleitender) Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei orthogonalen Richtungen des basiszentrischen Koordinatensystems, das in ISO 2631 für den menschlichen Körper definiert ist, ermittelt werden. ISO 2631-1 und ISO 2631-2 enthalten auch Angaben zu den Messorten.

ANMERKUNG Nationale Normen verwenden auch andere Beurteilungsgrößen für die Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen, beispielsweise den Spitzenwert der Schwinggeschwindigkeit (PPV), den KB_F -Wert und den Schwingungsdosiswert (VDV).

6.3 Wahrnehmung von sekundärem Luftschall

Sekundärer Luftschall sollte vorzugsweise als Höchstwert des A-bewerteten Schalldruckpegels¹⁾ L_{pASmax} mit der Zeitbewertung „slow“ und als äquivalenter Dauerschalldruckpegel L_{peq} in Terzen zwischen mindestens 25 Hz und 250 Hz für ein Ereignis (Zugvorbeifahrt) ermittelt werden. Werte sollten nahe, jedoch nicht genau in der Mitte eines Raums prognostiziert oder gemessen werden, um den unerwünschten Einfluss von stehenden Wellen im Raum zu umgehen.

Der sekundäre Luftschall sollte auf jeden Fall als ein Wert, der von derselben Art wie der zugrunde gelegte Richtwert ist, sowie als äquivalenter Dauerschalldruckpegel L_{peq} in Terzen zwischen mindestens 25 Hz und 250 Hz ermittelt werden.

Es wird empfohlen, Zeitverläufe aufzuheben, um später daraus gegebenenfalls andere Zielgrößen ableiten zu können.

Die Zielgröße(n) sollte(n) für die Immissionsorte prognostiziert werden, für die die zugrunde gelegten Richtwerte gelten, wobei die Streuung der Messwerte an unterschiedlichen Stellen in einem Raum angemessen zu berücksichtigen ist (beispielsweise ist der Schallpegel nahe einer Wand oder in einer Ecke höher als derjenige in der Nähe der Raummitte).

Die Streuung einer Zielgröße, die aufgrund vieler Faktoren auftreten kann (z. B. aufgrund der Unterschiedlichkeit der Züge), sollte angemessen berücksichtigt werden. Die Güte prognostizierter Pegel sollte durch

1) Formelzeichen nach ISO 12001.