

Mechanische Schwingungen
Elastische Elemente des Oberbaus von
Schienenfahrwegen

Teil 2: Ermittlung statischer und dynamischer Kennwerte im Betriebsgleis

DIN
45673-2

ICS 17.160; 93.100

Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks –

Part 2: Determination of static and dynamic characteristics in the track under operation

Inhalt

	Seite
Vorwort	1
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweisungen	2
3 Begriffe und Formelzeichen	2
3.1 Begriffe	2
3.2 Formelzeichen	3
4 Ermittlung der Schieneneinsenkung und Schienenkopfauslenkung . .	3
4.1 Belastung bei Fahrgeschwindigkeit $v = 0$	3
4.2 Belastung bei Fahrgeschwindigkeit $v > 0$	4
5 Ermittlung der Verformung von elastischen Elementen bei $v > 0$. .	5
5.1 Ermittlung der vertikalen Verformung von elastischen Elementen in Schienenstützpunkten	5
5.2 Ermittlung der Einsenkung der Schwelle	5
6 Stoßerregung zur Ermittlung der vertikalen dynamischen Steifigkeit des Oberbaus	6
6.1 Allgemeines zum Prüfverfahren	6
6.2 Prüfdurchführung	6
6.3 Auswertung	6
7 Ermittlung der Einfügungsdämmung bei Betriebserregung	8
7.1 Allgemeines	8
7.2 Prüfdurchführung	8
7.3 Auswertung	8
Anhang A (informativ) Ermittlung der Schieneneinsenkung (vertikal) bei $v > 0$ unter gleichzeitiger Messung der Radkraft oder der Stützpunktkraft	9
Anhang B (informativ) Ermittlung der Schienenkopfauslenkung (horizontal) bei $v > 0$	11
Anhang C (informativ) Beispiel zur messtechnischen Ermittlung der Einfügungsdämmung einer Unterschottermatte	12
Literaturhinweise	13

Vorwort

Diese Norm ist vom Gemeinschaftsausschuss NALS/VDI C 15 „Schwingungsminderung in der Umgebung von Verkehrswegen“ erarbeitet worden.

Fortsetzung Seite 2 bis 13

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

1 Anwendungsbereich

Diese Norm beschreibt experimentelle Verfahren, mit denen im Betriebsgleis vergleichende Untersuchungen zwischen verschiedenen Bauformen elastischer Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen durchgeführt werden können, mit denen aber auch die Wirksamkeit von elastischen Elementen bezüglich der Reduzierung der Emission von Erschütterungen und Körperschall ermittelt werden kann.

Zu den im Betriebsgleis ermittelten Kenngrößen gehören die Schieneneinsenkung (vertikal) bei statischer Radkraft, die Schieneneinsenkung (vertikal) und die Schienenkopfauslenkung (horizontal) bei Betriebserregung durch eine Zugüberfahrt, die Verformung von elastischen Elementen bei Betriebserregung, die vertikale dynamische Steifigkeit des Oberbaus bei Stoßerregung mit einem Prüfhammer (auch Stoßhammer, Impulshammer, Modalhammer genannt) sowie die Einfügungsdämmung bei Betriebserregung. Diese Kenngrößen sind nur dann vom gewählten Messort weitgehend unabhängig, wenn die Randbedingungen (z. B. Untergrund, Tunnelkonstruktion, Gebäudekonstruktion, Fahrzeugart) gleichartig sind.

ANMERKUNG 1 Im Gegensatz dazu werden in DIN 45673-1 Kenngrößen und -funktionen von elastischen Elementen des Oberbaus von Schienenfahrwegen aus Versuchen im Labor bei definierten Erregungen ermittelt. Jedoch ist eine Übereinstimmung von Kennwerten aus Laborversuchen und aus Versuchen im Betriebsgleis nicht immer gegeben.

ANMERKUNG 2 Durch elastische Elemente des Oberbaus kann eine Reduzierung der Erschütterungen und des Körperschalls in der Umgebung erreicht werden, jedoch ist nicht auszuschließen, dass dadurch die primäre Luftschallabstrahlung von Rad und Schiene erhöht wird.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur dann zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

DIN 1311-1:2000-02, *Schwingungen und schwingungsfähige Systeme – Teil 1: Grundbegriffe, Einteilung.*

DIN 45672-1, *Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Messverfahren.*

DIN 45672-2:1995-07, *Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 2: Auswerteverfahren.*

DIN 45673-1:2000-05, *Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 1: Ermittlung statischer und dynamischer Kennwerte im Labor.*

3 Begriffe und Formelzeichen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe nach DIN 45673-1 sowie die folgenden.

3.1.1

Radkraft (Q -Kraft)

der am Radaufstandspunkt wirkende Gewichtskraftanteil eines Fahrzeugs

3.1.2

angenommene Radkraft

die sich gemäß Herstellerangaben ergebende Kraft unter dem Rad, wobei der Leerzustand und der maximale Beladungszustand zu berücksichtigen sind

ANMERKUNG Diese angenommene Radkraft bei Fahrgeschwindigkeit $v = 0$ wird vielfach auch bei Messungen mit Fahrgeschwindigkeiten $v > 0$ als Belastung zugrunde gelegt.

3.1.3

gemessene Radkraft

die in geeigneter Art und Weise messtechnisch ermittelte Radkraft, die durch einen Radsatz eines Fahrzeugs verursacht wird

3.1.4

Stützpunktkraft (R -Kraft)

die auf einen Schienenstützpunkt wirkende Kraft aus den die Schiene belastenden Radkräften

3.1.5

Schieneneinsenkung

absolute Einsenkung der Schiene unter einer Radkraft, die sich aus den Steifigkeiten der in Reihe (Einzelstützpunkte) und parallel (mehrere Stützpunkte) geschalteten Federn (elastische Elemente des Oberbaus und des Unterbaus) eines Stützpunktes ergibt

ANMERKUNG Das beim Schotteroberbau gegebene Nullsetzungsmaß gehört nicht zur Schieneneinsenkung.

3.2 Formelzeichen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Formelzeichen nach DIN 45673-1 sowie die folgenden:

a	Beschleunigung
$\underline{A}(f)$	komplexes Beschleunigungsspektrum
$k_{d,z}(f)$	vertikale dynamische Steifigkeit
$\underline{k}_{d,z}(f)$	vertikale komplexe dynamische Steifigkeit
$\underline{N}(f)$	komplexe dynamische Nachgiebigkeit (Rezeptanz)
Q	Radkraft (Q -Kraft)
R	Stützpunktkraft (R -Kraft)
$s_{\text{dyn},y}$	horizontale Weggröße bei $v > 0$
$s_{\text{dyn},z}$	vertikale Weggröße bei $v > 0$
$s_{\text{stat},z}$	vertikale Weggröße bei $v = 0$
v	Fahrgeschwindigkeit des Zuges
Y	Horizontalkraft (Y -Kraft)

4 Ermittlung der Schieneneinsenkung und Schienenkopfauslenkung

4.1 Belastung bei Fahrgeschwindigkeit $v = 0$

4.1.1 Schieneneinsenkung (vertikal)

4.1.1.1 Allgemeines zum Prüfverfahren

Zur Ermittlung der maximalen Einsenkung der Schiene bei der maximal zulässigen Radkraft der Strecke ist über ein Belastungsfahrzeug die Belastung aufzubringen. Dieses muss einen so großen Radsatzabstand haben, dass der Einfluss der Radkraft der zweiten Achse auf die Biegelinie der Schiene weitgehend vernachlässigbar ist. Es wird die maximale Einsenkung der Schiene unter der Radkraft Q am Lasteinleitungspunkt gemessen, wobei ein Bezugspunkt zu wählen ist, der sich infolge des Belastungsfahrzeuges praktisch nicht verformt. Die Einsenkung muss auf 0,1 mm gemessen werden.

Sofern eine Strecke nur mit Fahrzeugen mit zweiachsigen Drehgestellen befahren wird, kann die Ermittlung der maximalen Einsenkung auch über ein Belastungsfahrzeug mit einem entsprechenden zweiachsigen Drehgestell ausgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Bezugspunkte können z. B. sein: Brückenträger, Kabelkanal, Tunnelsohle, in das Planum eingerammter Pfahl.

ANMERKUNG 2 Für die Messung der Einsenkung werden z. B. eingesetzt: induktive Wegaufnehmer, Nivellement aus 7 m bis 30 m Entfernung mit einem Planplattenmikrometer (Definition siehe DIN 18718), Lasermessverfahren, Messuhren.

4.1.1.2 Prüfdurchführung

Ausgehend von der Ruhelage wird die maximale vertikale Einsenkung im belasteten Zustand der Schiene gemessen. Im geraden Gleis ist im Allgemeinen die Messung an nur einer Schiene, in Bögen ist die Messung an beiden Schienen eines Gleises durchzuführen. Es ist an mindestens zehn verschiedenen Stellen im Gleis in einem Abstand von mindestens drei Stützpunkten direkt an der Schiene möglichst nahe dem Schienensteg an einem Stützpunkt zu messen.

Bei Messungen an einem Oberbau mit hochelastischer Schienenlagerung können größere Messabweichungen durch das Kippen der Schiene auftreten. Es empfiehlt sich in einem solchen Fall, am Schienenfuß innen und außen zu messen und den Mittelwert zu bilden. Da bei geschlossenen Oberbauformen, wie sie häufig bei Nahverkehrsbahnen bestehen, der Schienenfuß für Messungen nicht zugänglich ist, kann in einem solchen Fall am Schienenkopf mit zwei Aufnehmern gemessen werden.

Bei einem Schotteroberbau ist das Nullsetzungsmaß der Schwellen (Schwellenhohlage) zu eliminieren. Dies ist der vertikale Weg einer Schwelle im unbelasteten Gleis, der im Allgemeinen dann entsteht, wenn die Schwellenschrauben gelöst werden. Die Messung des Nullsetzungsmaßes kann folgendermaßen durchgeführt werden: An den Enden zweier 3 m langer Träger sind Standfüße angebracht. Je einer dieser Träger wird parallel zu den Schienen auf die linken und die rechten Schwellenköpfe der 1. und 6. Schwelle des Messabschnittes gestellt (60 cm Schwellenabstand angenommen). Nach dem Losschrauben der 2. bis 5. Schwelle werden mit den an den Trägern befestigten Messuhren die Nullsetzungsmaße dieser 2. bis 5. Schwelle gemessen. Im Weiteren wird jedoch nur der Wert der 3. Schwelle verwendet, über der auch die Einsenkungsmessung der Schiene erfolgt. Für die Untersuchungen nach dieser Norm sind nur Gleisbereiche zu verwenden, bei denen das Nullsetzungsmaß benachbarter Schwellen in gleicher Größenordnung ist.

ANMERKUNG Messabweichungen sind bei Anhebung der Schiene durch Expansion der vorgespannten Zwischenlagen möglich. Bei Unterschottermatten und/oder elastischen Schwellenlagerungen können die Schwellen durch ihr Eigengewicht einsinken, das ist kein Nullsetzungsmaß.

4.1.1.3 Auswertung

Aus den gemessenen Maximalwerten der Schieneneinsenkung wird der arithmetische Mittelwert $s_{\text{stat,z}}$ gebildet. Die Ergebnisse der maximalen Einsenkung der Schiene aus einer Messung für eine Belastung durch zwei Achsen können nach Zimmermann [1] näherungsweise auf eine Belastung durch nur eine Achse umgerechnet werden. (Die umgekehrte Vorgehensweise ist ebenfalls möglich.) Bei einem Masse-Feder-System ist die Anwendung der Formel nach Zimmermann auf den Anteil der Einsenkung der Schiene gegenüber der Gleis- tragplatte oder des Gleistoges begrenzt.

ANMERKUNG Aus diesem Mittelwert kann mit der Radkraft Q des Belastungsfahrzeugs die vertikale statische Steifigkeit $k_{\text{stat,z}}$ in kN/mm errechnet werden:

$$k_{\text{stat,z}} = \frac{Q}{s_{\text{stat,z}}} \quad (1)$$

4.1.2 Schienenkopfauslenkung (horizontal)

Diese Norm legt z. Z. kein Verfahren zur Bestimmung dieser Kenngröße fest.

4.2 Belastung bei Fahrgeschwindigkeit $v > 0$

4.2.1 Allgemeines

Da erfahrungsgemäß die Schieneneinsenkung und die Schienenkopfauslenkung von der Fahrgeschwindigkeit abhängig sind, sollte bei der Ermittlung der Schieneneinsenkung und Schienenkopfauslenkung eine repräsentative Geschwindigkeit gewählt werden (z. B. die für die Strecke zulässige Höchstgeschwindigkeit oder eine für einen Zugtyp häufige Geschwindigkeit). In jedem Fall muss die Größe der Fahrgeschwindigkeit mit den Prüfergebnissen angegeben werden.

4.2.2 Schieneneinsenkung (vertikal)

4.2.2.1 Prüfverfahren mit angenommener Radkraft

4.2.2.1.1 Allgemeines zum Prüfverfahren

Bei diesem Prüfverfahren wird die maximale vertikale Einsenkung der Schiene insbesondere am Schienenstützpunkt bei Überrollung durch einen Radsatz mit angenommener Radkraft Q analog zu 4.1.1.1 gemessen. Vorteilhaft ist es, wenn ein zweiachsiges Fahrzeug verwendet wird, sodass das Wegsignal der Schieneneinsenkung zwischen den Radsätzen auf Null zurückgeht.

Wird die Strecke ausschließlich mit Fahrzeugen mit zweiachsigen Drehgestellen befahren, gilt 4.1.1.1 analog.

Wenn zur Messung der Wege Beschleunigungsaufnehmer, deren Signal integriert werden muss, zum Einsatz kommen, ist in einem solchen Fall nachzuweisen, dass die erforderliche Genauigkeit der Messung eingehalten wird.

ANMERKUNG Siehe Anmerkungen 1 und 2 von 4.1.1.1.

4.2.2.1.2 Prüfdurchführung

Es gelten die gleichen Bedingungen wie in 4.1.1.2. Abweichend oder zusätzlich gilt: Es müssen die Einsenkungen unter mindestens 6 Zugüberfahrten der gleichen Fahrzeugbauart und bei gleicher Fahrgeschwindigkeit gemessen werden. Es sollte an mindestens drei Messquerschnitten gemessen werden, um eine repräsentative Aussage über die Schieneneinsenkung eines gleichartigen Gleisabschnittes zu ermöglichen. Für vergleichende Messungen sind vergleichbare Temperaturen zu wählen, da das statische und dynamische Verhalten des Oberbaus temperaturabhängig ist.