

DIN EN 13848-6



ICS 93.100

Einsprüche bis 2024-11-20
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 13848-6:2021-03

Entwurf

**Bahnanwendungen –
Oberbau –
Gleislagequalität –
Teil 6: Charakterisierung der geometrischen Gleislagequalität;
Deutsche und Englische Fassung prEN 13848-6:2024**

Railway applications –
Track –
Track geometry quality –
Part 6: Characterisation of track geometry quality;
German and English version prEN 13848-6:2024

Applications ferroviaires –
Voie –
Qualité géométrique de la voie –
Partie 6: Caractérisation de la qualité géométrique de la voie;
Version allemande et anglaise prEN 13848-6:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-09-20 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fsf@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF), Rolandstr. 4, 34131 Kassel.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 62 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Das Dokument prEN 13848-6:2024 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 087-00-01-06 UA „Abnahme von Oberbauarbeiten“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13848-6:2021-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderung der allgemeinen Struktur des Dokuments;
- b) Überarbeitung von Anhang A;
- c) Überarbeitung von Anhang B;
- d) Dokument redaktionell überarbeitet.

September 2024

prEN 13848-6

Bahnanwendungen – Oberbau – Gleislagequalität – Teil 6: Charakterisierung der geometrischen Gleislagequalität

Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 6: Characterisation of track geometry quality

Applications ferroviaires – Voie – Qualité géométrique de la voie – Partie 6: Caractérisation de la qualité géométrique de la voie

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Symbole und Abkürzungen	6
4 Grundprinzipien	6
4.1 Einleitung	6
4.2 Parameter zur Bewertung der Gleislagequalität	7
4.3 Transparenz	7
4.4 Komplexität	7
4.5 Gleis-Fahrzeug-Wechselwirkung	7
5 Verfahren zur Bewertung der Gleislagequalität	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Referenzverfahren: TQI_{ref} -Standardabweichung (SD)	7
5.3 Andere Verfahren	8
5.3.1 Allgemeines	8
5.3.2 Anzahl der Einzelfehler	8
5.3.3 Kombinierte Standardabweichung ($CoSD$)	9
5.3.4 Standardabweichung der Kombinationen von Parametern	10
5.3.5 Punktmassenbeschleunigungsverfahren (PMA)	11
5.3.6 Anwendung des theoretischen Modells	11
5.3.7 Leistungsdichtespektrum (PSD)	13
6 Stufen Ebenen der Aggregation und Berechnungsverfahren	13
7 Gleislagequalitätsklassen	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Beschreibung der Gleislagequalitätsklassen (TQC)	14
7.3 Werte der Gleislagequalitätsklassen	16
7.4 Zuordnung der $TQCs$	16
7.5 Mögliche Anwendung der $TQCs$	17
Anhang A (informativ) Punktmassenbeschleunigungsverfahren (PMA)	19
A.1 Einleitung	19
A.2 Berechnung des PMA-Bewertungsbilds	19
Anhang B (informativ) Methoden zur Analyse der Fahrzeugreaktionen (VRA)	21
B.1 Einleitung	21
B.2 Festlegung der Bewertungstabellen	21
B.3 Anwendung der Bewertungstabellen	24
Anhang C (normativ) Verfahren für die Berechnung der Referenz- $TQIs$ (TQI_{ref})	27
C.1 Einleitung	27
C.2 Beschreibung des Verfahrens	27
Anhang D (informativ) Verfahren für die Einteilung möglicher TQI mit $TQCs$	28
D.1 Einleitung	28
D.2 Beschreibung des Umrechnungsverfahrens	28
Literaturhinweise	30

Bilder

Bild 1 — Kombination von Richtung und Überhöhung	10
--	----

Bild 2 — Bestimmung der Gleislagequalitätsklassen, Beispiel von <i>LL</i> für den Geschwindigkeitsbereich von 0 km/h bis 80 km/h	15
Bild B.1 — Festlegung der Bewertungstabellen	22
Bild B.2 — Definition der Prüffehlerparameter	24
Bild B.3 — Einteilung der gemessenen Gleisgeometriesignale	25
Bild D.1 — Übersetzung zwischen standardisiertem <i>TQI_{ref}</i> und alternativen <i>TQIs</i>	29

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen	6
Tabelle 2 — Längshöhe — Standardabweichung — <i>D1</i>-Bereich	16
Tabelle 3 — Richtung — Standardabweichung — <i>D1</i>-Bereich	16
Tabelle 4 — Bedeutung des Bestimmungsverfahrens für die Anwendung der <i>TQC</i>	17
Tabelle 5 — Beispiel einer Bewertungstabelle	22

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13848-6:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 13848-6:2014+A1:2020 ersetzen.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zu EN 13848-6:2014+A1:2020 sind im Folgenden aufgeführt:

- *Änderung der allgemeinen Struktur des Dokuments;*
- *Überarbeitung von Anhang A;*
- *Überarbeitung von Anhang B.*

In diesem Dokument ist der Anhang C normativ und Anhang A, Anhang B und Anhang D sind informativ.

Dieses Dokument ist ein Teil der Normenreihe EN 13848 „Bahnanwendungen — Oberbau — Gleislagequalität“, wie nachstehend aufgeführt:

- *Teil 1: Beschreibung der Gleisgeometrie;*
- *Teil 2: Messsysteme — Gleismessfahrzeuge;*
- *Teil 3: Messsysteme — Gleisbau- und Instandhaltungsmaschinen;*
- *Teil 4: Messsysteme — Handgeführte und leichte Vorrichtungen;*
- *Teil 5: Geometrische Qualitätsstufen — Gleise, Weichen und Kreuzungen;*
- *Teil 6: Charakterisierung der geometrischen Gleislagequalität.*

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt das Verfahren zur Charakterisierung und Klassifizierung der Gleislagequalität auf der Grundlage der in EN 13848-1 definierten Parameter.

Dieses Dokument legt auch verschiedene Klassen der Gleislagequalität fest.

Folgendes leistet dieses Dokument nicht:

- Es gilt nicht für Strecken mit einer Nennspurweite von weniger als 1 435 mm;
- Es legt keine Anforderungen an Stadtbahnsysteme fest.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

EN 13848-1:2019, *Bahnanwendungen — Oberbau — Gleislagequalität — Teil 1: Beschreibung der Gleisgeometrie*

EN 17343, *Bahnanwendungen — Allgemeine Begriffe*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 17343 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp/>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1.1

Entzerrung

Algorithmus, der den spektralen Inhalt eines Signals verändert, um die Eigenschaften eines bestimmten Messsystems zu kompensieren oder anzuwenden

Anmerkung 1 zum Begriff: Entzerrung wird in der Normenreihe EN 13848 genannt, um ein Sehnennesssignal in ein *D1* oder *D2* Messsignal umzuwandeln.

3.1.2

Gleislagequalitätsindex

TQI, en: track quality index

Wert, der die Gleislagequalität eines Gleisabschnittes auf Grundlage von Parametern und Messverfahren nach Normenreihe EN 13848 beschreibt

3.1.3

Gleislagequalitätsklasse

TQC, en: track quality class

Charakterisierung der Gleislagequalität als Funktion der Geschwindigkeit und als Bereich des TQIs ausgedrückt

3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole und Abkürzungen nach Tabelle 1.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol	Bedeutung	Einheit
<i>AL</i>	Richtung (en: alignment)	mm
<i>ATQI</i>	Alternativer Gleislagequalitätsindex (en: Alternative Track Quality Index)	
<i>CL</i>	Überhöhung (en: cross level)	mm
<i>CoSD</i>	Kombinierte Standardabweichung (en: combined standard deviation)	mm
<i>cr</i>	Krümmung	1/m
<i>D0</i>	Wellenlängenbereich $1 < \lambda \leq 5$	m
<i>D1</i>	Wellenlängenbereich $3 < \lambda \leq 25$	m
<i>D2</i>	Wellenlängenbereich $25 < \lambda \leq 70$	m
<i>D3</i>	Wellenlängenbereich $70 < \lambda \leq 150$ für Längshöhe Wellenlängenbereich $70 < \lambda \leq 200$ für Richtung	m
λ	Wellenlängenbereich	m
<i>G</i>	Spurweite (en: track gauge)	mm
<i>LL</i>	Längshöhe (en: longitudinal level)	mm
<i>MBS</i>	Mehrkörpersystem (en: Multi Body System)	
<i>PMA</i>	Massenpunktbeschleunigung (Verfahren) (en: Point Mass Acceleration)	
<i>PSD</i>	Leistungsdichtespektrum (en: Power Spectral Density)	$\text{m}^2/(1/\text{m})$
<i>SD</i>	Standardabweichung (en: standard deviation)	mm
<i>SD_{LL}</i>	Standardabweichung der Längshöhe (en: standard deviation longitudinal level)	mm
<i>SD_{AL}</i>	Standardabweichung der Richtung (en: standard deviation alignment)	mm
<i>TQI</i>	Gleislagequalitätsindex (en: Track Quality Index)	
<i>TQI_{ref}</i>	Referenz-Gleislagequalitätsindex (en: Reference Track Quality Index)	
<i>TQC</i>	Gleislagequalitätsklasse (en: Track Quality Class)	
<i>V</i>	Geschwindigkeit	km/h
<i>VRA</i>	Fahrzeugantwortanalyse (Verfahren) (en: Vehicle Response Analysis)	

ANMERKUNG In diesem Dokument bezeichnet *AL* die „Richtung“ und darf nicht mit *AL* für „Aufmerksamkeitsgrenze“ nach EN 13848-5 verwechselt werden.

4 Grundprinzipien

4.1 Einleitung

Um ein ausreichendes Maß an Sicherheit, Fahrkomfort und wirtschaftlichem Bahnverkehr zu gewährleisten, wird die Qualität der Gleisgeometrie bewertet.

Dieses Dokument beschreibt die Klassifizierung der Gleislagequalität im Hinblick auf den Fahrkomfort durch TQIs. Der Sicherheitsaspekt wird hingegen in EN 13848-5 abgedeckt.

TQIs können anhand verschiedener Verfahren berechnet werden. Die in Abschnitt 5 beschriebenen werden von mindestens einem europäischen Schienennetz angewendet. Das Referenzverfahren für die Berechnung vergleichbarer TQIs wird in Abschnitt 7 näher beschrieben.

4.2 Parameter zur Bewertung der Gleislagequalität

Da Gleisgeometriemessfahrzeuge ihre Ergebnisse nach den in EN 13848-1 festgelegten Parametern angeben, müssen alle genormten Bewertungsverfahren auf diesen Parametern basieren.

4.3 Transparenz

Jeder Algorithmus der Gleislagequalitätsbewertung nach diesem Dokument muss vollständig dokumentiert, nachvollziehbar und für die Öffentlichkeit zugänglich sein.

4.4 Komplexität

Die Gleislagequalität sollte mit so wenigen TQIs wie möglich bewertet werden, und der Algorithmus sollte für den Anwender verständlich sein.

4.5 Gleis-Fahrzeug-Wechselwirkung

Die Bewertung der Gleislagequalität sollte die Grundsätze der Wechselwirkung zwischen Gleis und Fahrzeug widerspiegeln. So führen beispielsweise Gleisgeometriefehler gleicher Amplitude, aber unterschiedlicher Wellenlänge zu unterschiedlichen Fahrzeugreaktionen und der erforderliche Wellenlängenbereich ist je nach den zu bewertenden Parametern der Gleis-Fahrzeug-Interaktion unterschiedlich.

5 Verfahren zur Bewertung der Gleislagequalität

5.1 Allgemeines

Im Hinblick auf die weitläufige Nutzung in den europäischen Eisenbahnnetzen und die Notwendigkeit, einen einzelnen, einfach verständlichen TQI zu erhalten, wird die in 5.2 definierte Standardabweichung (SD) der Längshöhe und der Richtung als Referenzverfahren herangezogen, um die Gleislagequalität zu beschreiben. Sie wird im Folgenden als TQI_{ref} bezeichnet und ist in Anhang C festgelegt.

Die Festlegung eines TQI durch andere Verfahren kann verwendet werden, sofern eine vollständige Dokumentation über die Methode und ihre Beziehung zur Referenzmethode gemäß Anhang D vorliegt.

Die in den folgenden Unterabschnitten beschriebenen Verfahren können auf alle betrachteten Gleisgeometriedaten angewendet werden. Es dürfen auch Weichen enthalten sein.

5.2 Referenzverfahren: TQI_{ref} – Standardabweichung (SD)

Die Standardabweichung ist die in den europäischen Eisenbahnnetzen am häufigsten verwendete Berechnungsmethode zur Ermittlung des TQI. Sie stellt die Streuung eines Signals über einen bestimmten Streckenabschnitt im Verhältnis zum Mittelwert dieses Signals über den betrachteten Abschnitt dar.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Dabei ist:

N die Anzahl der Werte in der Probe;

x_i der aktuelle Wert des Signals;

E DIN EN 13848-6:2024-10
prEN 13848-6:2024 (D)

$\bar{x}$ der Mittelwert des Signals;

SD die Standardabweichung.

ANMERKUNG 1 Die Standardabweichung ist von der Signalstärke abhängig, die in einem gegebenen Wellenlängenbereich $[\lambda 1, \lambda 2]$ mit der folgenden Beziehung: $SD^2 = 2 \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} S_{xx}(\nu) d\nu$ berechnet wird, dabei ist S_{xx} das PSD, welches in 5.3.7 beschrieben wird.

SD wird üblicherweise für die folgenden Parameter berechnet:

- Längshöhe $D1$;
- Richtung $D1$.

Sie wird auch für andere Parameter berechnet:

- Verwindung;
- Spurweite;
- Überhöhung;
- Längshöhe $D2$;
- Richtung $D2$.

Bei der Berechnung von SD sollte der mögliche Einfluss des quasistatischen Teils (z. B. Trassierung) der Signale insbesondere für Verwindung, Spurweite und Überhöhung beachtet werden.

Für die Längshöhe und Richtung wird empfohlen, SD für jede Schiene einzeln zu berechnen. Sie darf auch anders berechnet werden (z. B. Mittelwert von zwei Schienen, ungünstigste oder beste der Schienen oder äußere Schiene in Kurven).

Die Länge des Gleisabschnittes, die der Berechnung der Standardabweichung zugrunde liegt, hat Einfluss auf das Ergebnis. Um vergleichbare Resultate zu erzielen, sollte nur eine Länge zugrunde gelegt werden. Üblicherweise wird für die Berechnung der Standardabweichung eine Länge von 200 m zugrunde gelegt. Sie darf entweder mit oder ohne Überlappung als gleitende Standardabweichung berechnet werden. Die Berechnung der Standardabweichung wird auch über längere Distanzen durchgeführt, wie z. B. 1 km, eine komplette Strecke oder ein komplettes Streckennetz.

ANMERKUNG 2 Es kann auch zwischen bestimmten Gleisabschnitten, wie z. B. Hauptgleisen, Bahnhöfen und Weichen und Kreuzungen, unterschieden werden.

5.3 Andere Verfahren

5.3.1 Allgemeines

Andere mögliche Verfahren zur Berechnung des TQI , die von einigen europäischen Eisenbahnnetzen verwendet werden, sind in den folgenden Unterabschnitten beschrieben.

5.3.2 Anzahl der Einzelfehler

Einzelfehler können ein Entgleisungsrisiko darstellen; das Zählen der Anzahl der Einzelfehler, die einen bestimmten Schwellenwert wie Eingriffsgrenze und Alarmgrenze auf einer bestimmten festen Gleislänge überschreiten, kann jedoch repräsentativ für die Qualität der Gleisgeometrie sein. Dieses Verfahren wird von mehreren europäischen Eisenbahnnetzen angewendet.

Die Anzahl der Einzelfehler je Einheit der Gleislänge wird gewöhnlich für folgende Parameter gezählt:

- Längshöhe $D1$;
- Richtung $D1$;
- Verwindung;
- Spurweite;
- Überhöhung.

Sie kann auch für folgende Parameter gezählt werden:

- Längshöhe $D2$;
- Richtung $D2$.

Gewöhnlich wird die Anzahl der Einzelfehler über 1 km oder mehr gezählt. Es darf auch über 100 m oder 200 m des Gleises gezählt werden.

Die Anzahl der Einzelfehler kann nach Angaben des Infrastrukturbetreibers über 100 m oder mehr gezählt werden.

Falls erforderlich, kann eine Unterscheidung zwischen speziellen Gleisabschnitten erfolgen, wie Hauptgleise, Bahnhöfe, Weichen und Kreuzungen.

Alternativ kann auch berechnet werden, welcher Prozentsatz einer Strecke einen bestimmten Schwellenwert überschreitet.

5.3.3 Kombinierte Standardabweichung ($CoSD$)

Die Bewertung der gesamten Gleislagequalität eines Gleisabschnittes (200 m, 1 000 m...) kann mit einer Kombination von gewichteten Standardabweichungen von individuellen Gleisgeometrieparametern erfolgen. Ein Beispiel dafür ist der nachfolgende TQI .

$$CoSD = \sqrt{w_{\overline{AL}}SD_{\overline{AL}}^2 + w_GSD_G^2 + w_{CL}SD_{CL}^2 + w_{\overline{LL}}SD_{\overline{LL}}^2}$$

Dabei ist:

SD ist die Standardabweichung der individuellen geometrischen Parameter;

w ist der Gewichtungsfaktor der individuellen geometrischen Parameter;

mit den Indizes:

$\overline{AL}$ die Richtung, Mittelwert der linken und rechten Schiene;

G die Spurweite;

CL die Überhöhung;

$\overline{LL}$ die Längshöhe, Mittelwert der linken und rechten Schiene.

Es ist dem Infrastrukturbetreiber überlassen, die Gewichtungsfaktoren entsprechend dem Zweck der Bewertung festzulegen.

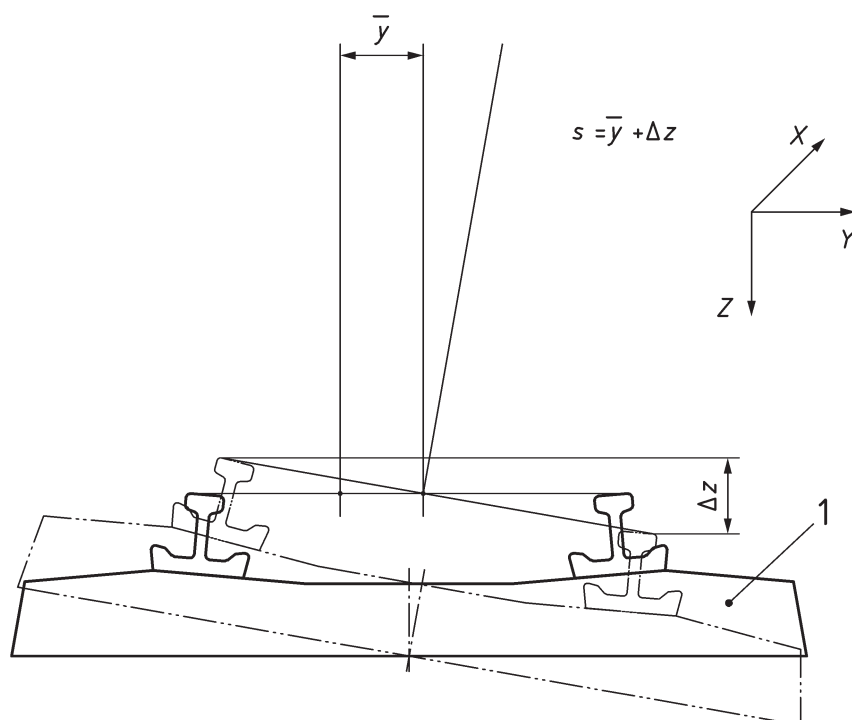
Eine andere Methode könnte darin bestehen, die Standardabweichungen der Gleisgeometrieparameter oder ihrer Kombinationen in eine dimensionslose Zahl umzuwandeln, die ohne Unterscheidung von Streckenkategorie, Geschwindigkeitsbereich und Gleisgeometrieparameter verwendet werden kann.

5.3.4 Standardabweichung der Kombinationen von Parametern

Die Standardabweichung für eine Kombinationen von Gleisgeometrieparametern kann bewertet werden. Dies basiert auf der Beobachtung, dass der Pegel der kombinierten Signale das Fahrzeugverhalten besser widerspiegeln kann als die einzelnen Signale.

Zum Beispiel kann eine Standardabweichung über eine über gleitende Gleislänge von 200 m für die Summe von Richtung und Überhöhung, die im gleichen Wellenlängenbereich (z. B. D1) gefiltert wurden, wie folgt ausgewertet werden:

- die Richtung der linken und rechten Schiene wird in einem Signal zusammengefasst, in Kurven durch die Wahl der äußeren Schiene und in Geraden entweder durch Mittelung oder durch Wahl einer der beiden Schienen;
- Überhöhungs- und Richtungssignale sind durch die Anwendung einer Vorzeichenwahl zusammen kombiniert, so dass ein Richtungsfehler nach rechts mit demselben Vorzeichen zu einem Überhöhungsfehler addiert wird, wobei die rechte Schiene niedriger als die linke Schiene liegt. Bild 1 zeigt ein Beispiel für die Kombination der Überhöhung Δz und die Richtung $\bar{y}$, wobei beide Vorzeichen positiv sind;
- die Standardabweichung der kombinierten Signale ist über eine gleitende Gleislänge von 200 m berechnet.



Legende

1	Referenzposition
$\bar{y} = (AL_{\text{rechts}} + AL_{\text{links}}) / 2$	Kombination der Richtung
$\Delta z = z_{\text{rechts}} - z_{\text{links}}$	Überhöhung
s	Summe Überhöhung und Richtung

Bild 1 — Kombination von Richtung und Überhöhung

5.3.5 Punktmassenbeschleunigungsverfahren (PMA)

Das PMA-Verfahren basiert auf folgenden Prinzipien:

- Das PMA-Modell geht von einem ungefederten virtuellen Fahrzeug aus. Es wird als Punktmasse angenommen, so dass nur die Bewegung des Schwerpunkts untersucht wird. Diese Punktmasse wird in einem bestimmten Abstand über die Gleismitte geführt;
- Die Punktmasse wird mit einer konstanten Geschwindigkeit entsprechend der maximal erlaubten Geschwindigkeit auf dem gemessenen Gleisabschnitt bewegt;
- Aufgrund der geometrischen Unregelmäßigkeiten des Gleises, welche durch die Längshöhe und die Richtung beider Schienen beschrieben werden, erfährt die Punktmasse Beschleunigungen a_y und a_z in horizontaler und vertikaler Richtung;
- Die Summierung der Beträge der vektoriellen Differenzen führt zu einem Bewertungswert der Gleislagequalität.

Das PMA-Verfahren zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Da das Verfahren auf dem zweiten Newtonsche Gesetz basiert, stellt ein PMA-Bewertungswert die Beschleunigungen dar, die für die Führung eines Massenpunktes benötigt werden;
- Da das PMA-Modell außer der Höhe des Schwerpunkts keine fahrzeugspezifischen Merkmale enthält, kann es keine fahrzeugspezifischen Reaktionen zeigen und wird daher als fahrzeugunabhängige Bewertungsmethode betrachtet;
- Das PMA-Modell berücksichtigt die maximale Streckengeschwindigkeit des bewerteten Gleises. Um denselben PMA-Gleislagequalitätswert zu erreichen, muss das Gleis mit einer hohen Streckenhöchstgeschwindigkeit eine geringere geometrische Unregelmäßigkeit aufweisen als ein Gleis mit einer niedrigeren Streckenhöchstgeschwindigkeit. Auf diese Weise kann ein einzelner Grenzwert möglicherweise für alle oder zumindest für einen breiten Bereich der Streckenhöchstgeschwindigkeiten dienen;
- Die Ableitungen der Längshöhe und Richtung dominieren den Bewertungswert. Demnach führen Fehler der gleichen Amplitude aber mit unterschiedlichen Wellenlängen zu verschiedenen Bewertungswerten;
- Das PMA-Verfahren kombiniert vertikale und laterale Abweichungen sowie die linke und rechte Schiene des Gleises.

Theoretische Hintergrundinformation des PMA-Verfahrens sind in Anhang A gegeben.

5.3.6 Anwendung des theoretischen Modells

5.3.6.1 Schätzung der Fahrzeugreaktion anhand eines theoretischen Modells

Mit Hilfe der Fahrzeugreaktionsanalyse (VRA) lassen sich objektive, quantifizierte Aussagen über den Zusammenhang zwischen der Qualität der Gleisgeometrie und den Reaktionen des Fahrzeugs bei verschiedenen Geschwindigkeiten treffen. Dabei werden Faktoren wie die Aneinanderreihung von isolierten Fehlern, die zu Resonanzen führen können, Kombinationen von Fehlern an derselben Stelle und das lokale Gleisdesign (z. B. Krümmung und Überhöhung) berücksichtigt.

Das VRA-Verfahren basiert auf folgenden Prinzipien:

- Berechnung der Fahrzeugreaktion auf die nach EN 13848-1 gemessene Gleisgeometrie. Die Fahrzeugreaktion wird durch die Rad-Schiene-Kräfte und die Beschleunigungen des Fahrzeugfahrwerks und des Wagenkastens dargestellt;
- Berücksichtigung von unterschiedlichen Fahrzeugarten, Konfigurationen und Geschwindigkeiten;

E DIN EN 13848-6:2024-10
prEN 13848-6:2024 (D)

- die Bewertungskriterien basieren auf den Grenzwerten nach EN 14363;
- das Ergebnis kann mit den Eingabeparametern der Gleisgeometrie verknüpft werden.

Bei der Anwendung solcher Methoden sollte auf die Konsistenz zwischen dem Wellenlängenbereich der Gleisgeometrie und dem Frequenzbereich der Fahrzeugreaktionsparameter geachtet werden. Die VRA-Verfahren zeichnen sich durch folgende Merkmale aus:

- Die VRA-Verfahren nutzen die Beziehung zwischen Gleisgeometrie und Fahrzeugverhalten, um die Gleisgeometriequalität zu bewerten. Mit Hilfe von numerischen Modellen liefert das Verfahren eine Schätzung der Fahrzeugreaktion. Diese Reaktion wird mit den jeweiligen Grenzwerten verglichen;
- VRA-Verfahren berücksichtigen die Überlagerung von lateralen und vertikalen Gleisfehlern in Kombination mit der zulässigen Fahrzeuggeschwindigkeit und dem daraus resultierenden lokalen Überhöhungsfehlbetrag;
- VRA-Verfahren benötigen keine definierten Geschwindigkeitsklassen, weil die relevanten Grenzwerte des Fahrzeuges geschwindigkeitsunabhängig sind;
- im Falle der Überschreitung eines bestimmten Grenzwertes der Fahrzeugreaktionsparameter, kann die anzuwendende Grenzgeschwindigkeit bestimmt werden;
- die Bewertungsfunktionen können für entsprechende Fahrzeugtypen, die auf den betrachteten Strecken fahren, ausgewählt werden.

Ein Beispiel für ein VRA-Verfahren ist in Anhang B aufgeführt.

5.3.6.2 Messung der Fahrzeugreaktion

Obwohl sie im Allgemeinen nicht für die Berechnung der TQI verwendet werden, können Messungen der Fahrzeugreaktion bei der Bewertung der Wechselwirkung zwischen dem fahrenden Fahrzeug und dem Gleis im Hinblick auf die Sicherheit und die Fahrqualität helfen.

In der Regel werden die Beschleunigungen von Drehgestell und Wagenkasten in seitlicher und vertikaler Richtung gemessen, aber auch die Rad-Schiene-Kräfte, wie z. B. die seitlichen und vertikalen Kräfte (Y und Q), können gemessen werden.

Zusätzlich zu der in Anhang E von EN 13848-1:2019 beschriebenen Analysemethode kann die Bewertung der Beschleunigungen auf der Grundlage von EN 14363 oder EN 12299 erfolgen.

Inspektionsfahrten werden gewöhnlich auf Hochgeschwindigkeitsstrecken durchgeführt, aber sie können auch für konventionelle Strecken von Interesse sein.

Die folgenden Prinzipien sollten bei Anwendung dieser Messungen berücksichtigt werden:

- die für diese Bewertungen verwendeten Fahrzeuge sind repräsentativ für das auf den bewerteten Strecken eingesetzte Rollmaterial die Fahrten mit der Höchstgeschwindigkeit der Strecke mit einer Toleranz von $\pm 10\%$ durchgeführt;
- die Messungen werden an den Teilen des Fahrzeuges durchgeführt, bei denen die höchste Reaktion erwartet wird, z. B. das führende Drehgestell oder der Radsatz;
- der Zustand der Schienenoberfläche (nass oder trocken) wird berücksichtigt;
- die Position des Zuges muss bekannt sein, um die gefundenen Fehler zu lokalisieren.

5.3.7 Leistungsdichtespektrum (PSD)

Die PSD gibt die Energie des Signals im Verhältnis zur Frequenz für einen bestimmten Gleisgeometrieparameter gemessen über einen bestimmten Gleisabschnitt an. .

Es gibt verschiedene Methoden zur Berechnung der PSD (z. B. die Welch-Methode). Die verwendete Methode soll hier beschrieben werden.

Um repräsentativ zu sein, sollte *PSD* berechnet werden:

- über eine ausreichende Länge der Strecke, typischerweise 5 km. Es können jedoch auch kürzere Streckenlängen verwendet werden, indem Techniken der Kurzzeit-Fourier-Transformation angewandt werden, um Änderungen der spektralen Eigenschaften der Gleisgeometrie zu analysieren;
- über einen Gleisabschnitt, der so weit wie möglich homogene Merkmale und Qualität aufweist, z. B. gleiche Trassierung oder gleiche Komponenten;
- für einen Bereich von relevanten Wellenlängen..

Die *PSD* kann für die Charakterisierung der geometrischen Qualität für einen Gleisabschnitt oder einer Strecke hilfreich sein, damit:

- Fahrzeughersteller die Qualität der Gleise, auf denen die Fahrzeuge fahren werden, besser abschätzen können;
- Infrastrukturbetreiber wissen, welche Fehlerwellenlängen im Gleis vorhanden sind.

Einer der Hauptvorteile von *PSD* ist die Darstellung von typischen Spitzen aufgrund von vorhandenen wiederholt auftretenden Fehlern wie Schweißnähten.

6 Stufen Ebenen der Aggregation und Berechnungsverfahren

Die Gleislagequalität wird für verschiedene Zwecke analysiert. Es können verschiedene Arten von Analysen erforderlich sein, und es wird empfohlen, sie je nach dem erwarteten Verwendungszweck der jeweiligen Analyse in verschiedene Aggregationsebenen zu unterteilen. Im Folgenden werden drei Aggregationsstufen von Gleisgeometriedaten definiert:

- **Detailebene:** Diese Ebene enthält die Analysen, die für die Entscheidung über lokale Eingriffe, kurzfristige Gleisinstandhaltung und betriebliche Einschränkungen erforderlich sind. Diese Analysen können auch für Studien von Fahrzeugkonstrukteuren und Fahrzeug-Gleis-Wechselwirkungen wertvoll sein;
- **mittlere Ebene:** Diese Ebene enthält die Analysen für mittelfristige Gleisinstandhaltung und die Planung von Erneuerung. Diese Aggregationsebene kann auch für die Fahrzeugauslegung und für die Abnahmeverfahren von Interesse sein;
- **Übersichtsebene:** Diese Ebene enthält die für strategische Entscheidungen erforderlichen Analysen. Eine große Menge an Daten wird in einigen wenigen Indikatoren zusammengefasst, um einen Überblick über das gesamte Netz oder einen Teil davon zu erhalten. Diese Analysen sind sowohl für das langfristige Netzmanagement von Infrastrukturbetreibern und nationalen Behörden als auch für Eisenbahnunternehmen nützlich.

Die Bewertung einzelner isolierter Fehler nach EN 13848-5 eignet sich zur Charakterisierung der Gleisgeometrie auf einer detaillierten Aggregationsebene. Die Standardabweichung (SD) wird üblicherweise zur Beschreibung der Gleisgeometriequalität für mittlere und Übersichtaggregationsstufen verwendet.

7 Gleislagequalitätsklassen

7.1 Allgemeines

Für den Zweck dieses Dokuments wurde eine Bestandsaufnahme der europäischen Gleislagequalität durchgeführt, um Gleislagequalitätsklassen und ihre entsprechenden Grenzwerte festzulegen. Die Bestandsaufnahme wurde im *D1*-Bereich entsprechend dem Verfahren in Anhang C durchgeführt. Die Gleislagequalitätsdaten der teilnehmenden Netze wurden gesammelt, und die Summenhäufigkeitsverteilungen wurden über einen gewichteten Durchschnitt entsprechend der Netzlängen berechnet, um die europäische Gleislagequalitätsverteilung für die fünf folgenden unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereiche (V in km/h) zu erhalten:

- $V \leq 80$;
- $80 < V \leq 120$;
- $120 < V \leq 160$;
- $160 < V \leq 230$;
- $230 < V \leq 300$.

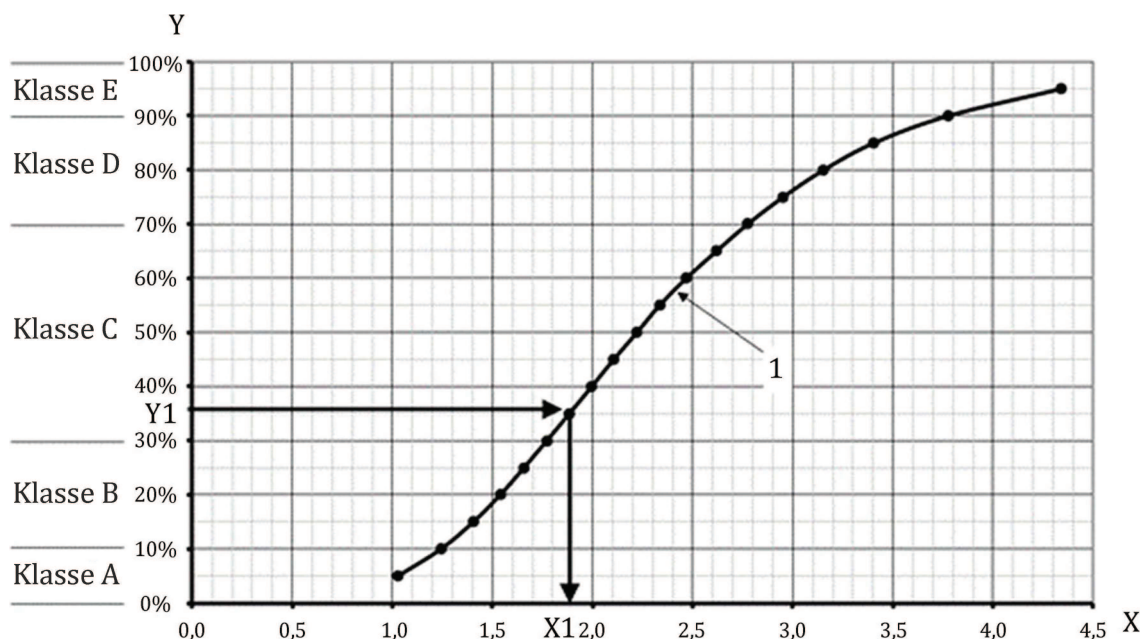
ANMERKUNG 1 Höhere Geschwindigkeiten als 300 km/h wurden bei der Bestandsaufnahme aufgrund von fehlenden repräsentativen Daten nicht berücksichtigt.

ANMERKUNG 2 Weitere Einzelheiten zum Verfahren und die Ergebnisse für die Gleislagequalität können dem technischen Bericht [1] entnommen werden.

ANMERKUNG 3 Für Geschwindigkeiten über 160 km/h können auch die Standardabweichungen innerhalb der Wellenlänge *D2* (und *D3*) berücksichtigt werden, aber die entsprechenden Werte sind noch nicht definiert.

7.2 Beschreibung der Gleislagequalitätsklassen (*TQC*)

Eine Art, um einen Überblick über die geometrische Gleislagequalität zu erhalten, ist die Summenhäufigkeitsverteilung des TQI_{ref} in Bild 2. Dieses Diagramm zeigt den Prozentsatz, der einen bestimmten TQI_{ref} -Wert des betrachteten Gleisabschnittes unterschreitet. Bild 2 zeigt die europäische Verteilung von *LL* für den Geschwindigkeitsbereich 0 km/h bis 80 km/h. In dieser Darstellung hat beispielsweise Y1 des betrachteten Gleisabschnittes einen TQI_{ref} -Wert, der niedriger als X1 ist.



Legende

1 Europäische Gleislagequalitätsverteilung (Durchschnitt)

X Referenzqualitätsindex (TQI_{ref} in mm) – siehe Tabelle 2

Y prozentualer Anteil der Gleislagequalitätsverteilung

Bild 2 — Bestimmung der Gleislagequalitätsklassen, Beispiel von LL für den Geschwindigkeitsbereich von 0 km/h bis 80 km/h

Die Definitionen der $TQCs$ in diesem Dokument basieren auf der Summenhäufigkeitsverteilung des gewichteten Durchschnitts aller Netze, die bei der europäischen Gleislagequalitätsbestandsaufnahme teilgenommen haben. Die fünf $TQCs$ sind wie folgt festgelegt:

- Klasse A – die besten 10 % der Verteilung der europäischen Gleislagequalität;
- Klasse B – zwischen 10 % und 30 % der Verteilung der europäischen Gleislagequalität;
- Klasse C – zwischen 30 % und 70 % der Verteilung der europäischen Gleislagequalität;
- Klasse D – zwischen 70 % und 90 % der Verteilung der europäischen Gleislagequalität;
- Klasse E – über 90 % der Verteilung der Europäischen Gleislagequalität, die die ungünstigsten 10 % der Verteilung darstellen.

Diese fünf $TQCs$ von A bis E klassifizieren die Gleislagequalität in steigender Reihenfolge für fünf Geschwindigkeitsbereiche nach 7.1. Weil dies separat für die Längshöhe und die Richtung erfolgt, kann dies zu unterschiedlichen $TQCs$ für jeden Parameter führen.

Wenn ein Gleisabschnitt anhand dieser TQC klassifiziert werden soll, muss die in Anhang C beschriebene Methode angewendet werden, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Wenn ein alternativer TQI angewendet werden soll, sollte die Beziehung zwischen den $TQCs$, berechnet unter Verwendung dieses TQI und dem Verfahren in Anhang C, nach dem Verfahren in Anhang D festgelegt werden.

7.3 Werte der Gleislagequalitätsklassen

In Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die Schwellenwerte für die Längshöhe und die Richtung für jede TQC und für jeden Geschwindigkeitsbereich angegeben. Diese Tabellen basieren auf den Gleismerkmalen der europäischen Eisenbahnnetze, die an der zwischen 2010 und 2013 durchgeführten Bestandsaufnahme der europäischen Gleislagequalität [1], nach dem Verfahren nach Anhang C teilgenommen haben.

Tabelle 2 — Längshöhe — Standardabweichung — D1-Bereich

Geschwindigkeit (km/h)	Schwellenwert der Standardabweichung (in mm)				
	Gleislagequalitätsklasse				
	A	B	C	D	E
$V \leq 80$	< 1,25	1,75	2,75	3,75	> 3,75
$80 < V \leq 120$	< 0,75	1,10	1,80	2,50	> 2,50
$120 < V \leq 160$	< 0,65	0,85	1,40	1,85	> 1,85
$160 < V \leq 230$	< 0,60	0,75	1,15	1,60	> 1,60
$230 < V \leq 300$	< 0,40	0,55	0,85	1,15	> 1,15
$V > 300$	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar
ANMERKUNG 1 Weil Geschwindigkeiten über 300 km/h in der Bestandsaufnahme nicht berücksichtigt wurden, kann kein Wert für diesen Geschwindigkeitsbereich angegeben werden.					
ANMERKUNG 2 Für Geschwindigkeiten über 160 km/h können auch die Standardabweichungen innerhalb der Wellenlänge D2 (und D3) berücksichtigt werden, aber die entsprechenden Werte sind noch nicht definiert.					

Tabelle 3 — Richtung — Standardabweichung — D1-Bereich

Geschwindigkeit (km/h)	Schwellenwert der Standardabweichung (in mm)				
	Gleislagequalitätsklasse				
	A	B	C	D	E
$V \leq 80$	< 0,90	1,25	1,95	2,70	> 2,70
$80 < V \leq 120$	< 0,50	0,70	1,05	1,45	> 1,45
$120 < V \leq 160$	< 0,45	0,55	0,75	1,00	> 1,00
$160 < V \leq 230$	< 0,40	0,50	0,70	0,90	> 0,90
$230 < V \leq 300$	< 0,35	0,40	0,50	0,65	> 0,65
$V > 300$	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar
ANMERKUNG 1 Weil Geschwindigkeiten über 300 km/h in der Bestandsaufnahme nicht berücksichtigt wurden, kann kein Wert für diesen Geschwindigkeitsbereich angegeben werden.					
ANMERKUNG 2 Für Geschwindigkeiten über 160 km/h können auch die Standardabweichungen innerhalb der Wellenlänge D2 (und D3) berücksichtigt werden, aber die entsprechenden Werte sind noch nicht definiert.					

7.4 Zuordnung der TQCs

Basierend auf den $TQIs_{ref}$ können unter anderen die folgenden Verfahren für die Zuordnung der TQCs zu Netzabschnitten verwendet werden:

- Maximalwert: das Maximum aller individuellen $TQI_{s_{ref}}$ des betrachteten Netzabschnitts wird verwendet, um die Gleislagequalität für diesen Abschnitt zu beschreiben;
- Mittelwert: der mittlere TQI_{ref} wird von allen individuellen $TQI_{s_{ref}}$ des betrachteten Netzabschnitts berechnet und wird verwendet, um die Gleislagequalität für diesen Abschnitt zu beschreiben;
- Perzentil der Verteilung der $TQI_{s_{ref}}$ (z. B. 10 %, 90 %, ...): Nach der Berechnung der Summenhäufigkeitsverteilung der $TQI_{s_{ref}}$ auf dem betrachteten Netzabschnitt wird ein bestimmtes Perzentil gewählt, und der entsprechende TQI_{ref} -Wert wird verwendet, um die Gleislagequalität für diesen Abschnitt zu beschreiben;
- Prozentsatz einer erforderlichen TQC : Prozentsatz der Länge des betrachteten Netzabschnitts, in welchem die Gleislagequalität zumindest die verlangte TQC einhält, z. B. „70 % der kumulativen Länge einer Strecke muss mindestens $TQC B$ einhalten“.

Die oben genannten Verfahren können für alle 3 Aggregationsstufen nach Abschnitt 6 verwendet werden.

7.5 Mögliche Anwendung der $TQCs$

In diesem Dokument wurden $TQCs$ festgelegt, um die Qualität der Gleisgeometrie zu quantifizieren. Die nachstehende, nicht vollständige Liste enthält mögliche Fälle, in denen diese $TQCs$ angewendet werden könnten:

- ein möglicher wichtiger Leistungsindikator, der von einem Infrastrukturbetreiber in einer Instandhaltungsstrategie verwendet wird, bei der in der Regel viele Informationen in einer oder mehrere Zahlen zusammengefasst werden sollen
- Festlegung des detaillierten Arbeitsplans des Infrastrukturunternehmers;
- Abnahme von Gleisarbeiten, die sich auf die Qualität der Gleisgeometrie auswirken (z. B. ein neues Gleis oder Gleiserneuerungsarbeiten oder Gleisinstandhaltungsarbeiten gemäß EN 13231-1);
- Überwachung der Gesamtqualität des Gleises zu vertraglichen Zwecken, z. B. zwischen dem Infrastrukturbetreiber und dem Eigentümer der Infrastruktur;
- vertragliche Vereinbarungen zwischen dem Eisenbahnverkehrsunternehmen und dem Eigentümer der Infrastruktur
- Fahrzeugauslegung entsprechend den Anforderungen an die Fahrqualität und die Gleislagequalität der Strecken, auf denen das Fahrzeug fahren wird;
- Auswahl der Gleisabschnitte für die Fahrzeugzulassung.

Für jede mögliche Verwendung der $TQCs$ sind empfohlene Verfahren in der untenstehenden Tabelle angegeben, wobei die Symbole „++ / + / - / --“ von dem wichtigsten bis zu dem unwichtigsten Verfahren zählen.

Tabelle 4 — Bedeutung des Bestimmungsverfahrens für die Anwendung der TQC

Anwendung	Maximalwert	Mittelwert	Perzentil einer Verteilung des $TQI_{s_{ref}}$	Prozentsatz einer erforderlichen TQC
Leistungsindikator genutzt bei einer auf einem hohen Niveau liegenden Instandhaltungsstrategie	--	+	++	++
Detaillierter Arbeitsplan für Gleisinstandhaltung	++	++	+	+