

DIN EN 14067-4

ICS 45.060.01

Ersatz für
DIN EN 14067-4:2006-02**Bahnanwendungen –****Aerodynamik –****Teil 4: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik auf offener Strecke;****Deutsche Fassung EN 14067-4:2005+A1:2009**

Railway applications –

Aerodynamics –

Part 4: Requirements and test procedures for aerodynamics on open track;

German version EN 14067-4:2005+A1:2009

Applications ferroviaires –

Aérodynamique –

Partie 4: Exigences et procédures d'essai pour l'aérodynamique à l'air libre;

Version allemande EN 14067-4:2005+A1:2009

Gesamtumfang 38 Seiten

Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14067-4:2005+A1:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 087-00-05 AA „Aerodynamik und aerodynamische Sondereffekte“ im Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14067-4:2006-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 5.3 über die Bewertung anhand von numerischen Simulationen wurde dem neuesten Stand der Technik angepasst;
- b) Anhang ZA über den Zusammenhang dieser Norm mit EG-Richtlinien wurde an die neue Richtlinie 2008/57/EG und an den letzten Stand der Technischen Spezifikationen zur Interoperabilität, durch die grundlegende Anforderungen der Richtlinie in technische Anforderungen umgesetzt werden, angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14067-4: 2006-02

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 8756, *Luftbeschaffenheit — Handhabung von Temperatur-, Druck- und Feuchtedaten*

Deutsche Fassung

**Bahnanwendungen —
Aerodynamik —
Teil 4: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik auf
offener Strecke**

Railway applications —
Aerodynamics —
Part 4: Requirements and test procedures for aerodynamics
on open track

Applications ferroviaires —
Aérodynamique —
Partie 4: Exigences et procédures d'essai pour
l'aérodynamique à l'air libre

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 14. Oktober 2005 angenommen und schließt Änderung 1 ein, die am 5. April 2009 vom CEN angenommen wurde.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	6
4 Laufwiderstand	6
4.1 Allgemeines.....	6
4.2 Bewertung anhand von Näherungsgleichungen.....	7
4.3 Bewertung anhand von numerischen Simulationen.....	7
4.4 Bewertung anhand von Versuchen im reduzierten Maßstab	7
4.5 Bewertung anhand von Versuchen im 1:1-Maßstab	7
4.5.1 Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	7
4.5.2 Anforderungen für Schleppversuche	7
4.5.3 Anforderungen für Auslaufversuche.....	8
5 Belastung von Objekten durch zugverursachte Druckänderungen.....	10
5.1 Allgemeines.....	10
5.2 Bewertung anhand von Näherungsgleichungen.....	10
5.2.1 Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	10
5.2.2 Ebene vertikale Strukturen parallel zum Gleis	10
5.2.3 Ebene horizontale Strukturen über dem Gleis	12
5.2.4 Ebene horizontale Strukturen in Gleisnähe	13
5.2.5 Kombinationen aus vertikalen und horizontalen oder geneigten Strukturen in Gleisnähe.....	14
5.2.6 Gleisumschließende Strukturen mit Längen bis zu 20 m.....	15
5.2.7 Windeinfluss auf die zugverursachten Belastungen	16
5.3  Bewertung anhand von numerischen Simulationen	16
5.3.1 Allgemeines.....	16
5.3.2 Benchmark-Versuche.....	17
5.3.3 Fahrzeugmodell	17
5.3.4 Rechengebiet	17
5.3.5 Unterteilung des Rechengebiets.....	18
5.3.6 Turbulenzmodell	18
5.3.7 Grenzschichtbedingungen	19
5.3.8 Rechenverfahren.....	19
5.3.9 Reynoldszahl.....	19
5.3.10 Bewertung des berechneten Zugdruckimpulses	19
5.4 Bewertung anhand von Versuchen im reduzierten Maßstab	19
5.4.1 Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	19
5.4.2 Anforderungen für herkömmliche Windkanalversuche.....	20
5.4.3 Anforderungen für Versuche mit bewegten Modellen	20
5.5 Bewertung anhand von Versuchen im 1:1-Maßstab	22
5.5.1 Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	22
5.5.2 Anforderungen für Messungen des ungestörten Druckfelds	22
5.5.3 Anforderungen für Druckmessungen an gleisnahen Oberflächen	23
6 Belastung von Objekten durch zugverursachte Luftströmungen	24
6.1 Allgemeines.....	24
6.2 Bewertung anhand von Näherungsgleichungen.....	25
6.3 Bewertung anhand von numerischen Simulationen.....	25
6.4 Bewertung durch Versuche im reduzierten Maßstab.....	25
6.4.1 Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	25
6.4.2 Anforderungen	26

6.5	Bewertung durch Versuche im 1:1-Maßstab	27
6.5.1	Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	27
6.5.2	Anforderungen	27
7	Zugverursachte Belastungen von Fahrgästen auf Bahnsteigen	28
7.1	Allgemeines	28
7.2	Bewertung anhand von Näherungsgleichungen	28
7.3	Bewertung anhand von numerischen Simulationen	28
7.4	Bewertung anhand von Versuchen im reduzierten Maßstab	28
7.5	Bewertung anhand von Versuchen im 1:1-Maßstab	28
7.5.1	Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	28
7.5.2	Anforderungen	28
8	Zugverursachte Belastungen von Personal in Gleisnähe	29
8.1	Allgemeines	29
8.2	Bewertung anhand von Näherungsgleichungen	29
8.3	Bewertung anhand von numerischen Simulationen	30
8.4	Bewertung anhand von Versuchen im reduzierten Maßstab	30
8.5	Bewertung anhand von Versuchen im 1:1-Maßstab	30
8.5.1	Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	30
8.5.2	Anforderungen an Luftströmungsmessungen	30
9	Zugverursachte Belastung entgegenkommender Züge	31
9.1	Allgemeines	31
9.2	Bewertung anhand von Näherungsgleichungen	31
9.3	Bewertung anhand von numerischen Simulationen	31
9.4	Bewertung anhand von Versuchen im reduzierten Maßstab	31
9.5	Bewertung anhand von Versuchen im 1:1-Maßstab	31
9.5.1	Allgemeine Anmerkungen und Anwendung	31
9.5.2	Anforderungen	32
	Anhang ZA (informativ)	33
	[A₁] Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG	33
	Literaturhinweise	36
Bilder		
	Bild 1 — Zeitlicher Druckverlauf an einer gleisparallelen, vertikalen Wand bei der Vorbeifahrt eines Zuges	10
	Bild 2 — Belastung ebener vertikaler Flächen parallel zum Gleis	11
	Bild 3 — Belastung ebener horizontaler Strukturen über dem Gleis	12
	Bild 4 — Belastung ebener horizontaler Strukturen in Gleisnähe	13
	Bild 5 — Belastung von Kombinationen aus vertikalen und horizontalen oder geneigten Strukturen in Gleisnähe	14
	Bild 6 — Belastung der vertikalen und horizontalen Flächen einer zwei Gleise umschließenden Struktur	16
	Bild 7 — Skizze der Bodenkonfiguration eingleisiges Schotterbett (Seitenansicht)	18
	Bild [A₁] 8 [A₁] — Beispiel für den schematischen Aufbau einer Druckmessung	24
	Bild [A₁] 9 [A₁] — Zugverursachte Luftströmungen	25

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14067-4:2005+A1:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2009 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, die am 2009-04-05 von CEN angenommen wurde.

Dieses Dokument ersetzt EN 14067-4:2005.

Zur Kennzeichnung von Anfang und Ende des durch die Änderung eingefügten oder geänderten Texts werden Änderungsmarken **A1** **A1** verwendet.

A1 Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EG-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EG-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist. **A1**

Diese Europäische Norm ist Teil der Normenreihe „*Bahnanwendungen — Aerodynamik*“, die aus den folgenden Teilen besteht:

- *Teil 1: Formelzeichen und Einheiten*
- *Teil 2: Aerodynamik auf offener Strecke*
- *Teil 3: Aerodynamik im Tunnel*
- *Teil 4: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik auf offener Strecke*
- *Teil 5: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik im Tunnel*
- *Teil 6: Anforderungen und Prüfverfahren zur Bewertung von Seitenwind*

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Züge auf offener Strecke verursachen aerodynamische Belastungen an Personen und Objekten, an denen sie vorbeifahren. Wenn Züge anderen Zügen begegnen, sind sie selbst ebenfalls aerodynamischen Belastungen ausgesetzt. Die zugverursachten Belastungen von Personen und Objekten in Gleisnähe sowie von Zügen bei Zugbegegnungen hängen hauptsächlich von den folgenden Parametern ab:

- Fahrgeschwindigkeit(en) des Zuges bzw. der Züge;
- Abstand zwischen dem Objekt und dem Zug bzw. den Zügen;
- Geometrie des Zuges bzw. der Züge;
- Geometrie des Objekts;
- Windeinfluss.

Züge müssen bei der Fahrt auf offener Strecke einen Laufwiderstand überwinden.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für die aerodynamischen Belastungen auf offener Strecke, die verursacht werden:

- bei der Vorbeifahrt von Zügen an einer dauernden oder temporären Struktur;
- bei der Vorbeifahrt von Zügen an einer Person in Gleisnähe;
- bei der Begegnung zweier Züge.

Diese Europäische Norm gilt für offene Strukturen aller Längen sowie für gleisumschließende, geschlossene Strukturen bis zu 20 m Länge. Für gleisumschließende, geschlossene Strukturen über 20 m Länge gilt [EN 14067-5](#).

Die seitenwindverursachten aerodynamischen Effekte sind in prEN 14067-6 beschrieben.

Weiterhin gilt diese Europäische Norm für den Laufwiderstand von Zügen auf offener Strecke.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Europäischen Norm 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).

EN 14067-1:2003, *Bahnanwendungen — Aerodynamik — Teil 1: Formelzeichen und Einheiten*

EN 14067-2, *Bahnanwendungen — Aerodynamik — Teil 2: Aerodynamik auf offener Strecke*

ISO 8756, *Luftbeschaffenheit — Handhabung von Temperatur-, Druck- und Feuchtedaten*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe, Symbole und Abkürzungen nach EN 14067-1:2003. Weitere Begriffe, Symbole und Abkürzungen werden im Text erläutert.

4 Laufwiderstand

4.1 Allgemeines

Die folgende Gleichung beschreibt die Abhängigkeit des Laufwiderstands eines Zuges R_1 auf offener, gerader und ebener Strecke ohne Windeinwirkung von der Fahrgeschwindigkeit v_{tr} .

$$R_1 = C_1 + C_2 v_{tr} + C_3 v_{tr}^2 \quad (1)$$

Dabei ist

$C_1 + C_2 v_{tr}$ der Rollwiderstand sowie der Impulswiderstand, der durch die Kühlluft der Lokomotiven und die Klimatisierung der Wagen verursacht wird;

$C_3 v_{tr}^2$ der aerodynamische Widerstand, der durch den Druckwiderstand und die Oberflächenreibung verursacht wird.

4.2 Bewertung anhand von Näherungsgleichungen

Es sind keine allgemein akzeptierten Gleichungen verfügbar.

4.3 Bewertung anhand von numerischen Simulationen

Es sind keine allgemein akzeptierten Verfahren verfügbar.

4.4 Bewertung anhand von Versuchen im reduzierten Maßstab

Es sind keine allgemein akzeptierten Verfahren verfügbar.

4.5 Bewertung anhand von Versuchen im 1:1-Maßstab

4.5.1 Allgemeine Anmerkungen und Anwendung

Auslaufversuche sind die bekannteste Methode zur Bestimmung des Laufwiderstands ganzer Züge.

Der Auslaufversuch erlaubt die Bestimmung der geschwindigkeitsabhängigen Anteile von R_1 . Für den C_1 -Term wird ein spezieller Versuch benötigt, am verlässlichsten sind Schleppversuche bei sehr geringer Geschwindigkeit. Das Grundprinzip des Auslaufversuchs besteht darin, den Zug auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu bringen und vor Erreichen des Versuchsstreckenabschnitts die Zugkraft und alle Quellen magnetischer Widerstände, wie zum Beispiel IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) abzuschalten. Im Versuchsstreckenabschnitt werden Zuggeschwindigkeit und Zugposition laufend gemessen. Abhängig von der gewählten Versuchsmethode kann die Messung der Beschleunigung des Zuges erforderlich sein. Mit diesen Informationen ist es möglich, R_1 zu bestimmen, indem die Parameter einer vorgegebenen Kurve an die Versuchsdaten angepasst werden. Der wichtigste Vorteil dieser Methode ist, dass keine Zugkraftmessung erforderlich ist.

Zur Bestimmung des Laufwiderstands eines Zuges mittels Auslaufmethode werden im Allgemeinen zwei Auswerteverfahren verwendet:

- das Regressionsverfahren und
- das Geschwindigkeitsverlaufsverfahren.

Die folgenden Abschnitte behandeln die Schleppversuche, die Anforderungen für Auslaufversuche und die Datenauswertung nach der Versuchsdurchführung.

4.5.2 Anforderungen für Schleppversuche

Im Schleppversuch wird der Zug von einer Winde mit konstanter Geschwindigkeit gezogen. Dieser Versuch sollte in einem geraden und ebenen Versuchsstreckenabschnitt durchgeführt werden. Gleisgeometrie und Schienenoberfläche müssen so gut wie möglich sein.

C_1 ist die mittlere Zugkraft im Zeitintervall konstanter Windengeschwindigkeit. Zur Vermeidung geschwindigkeitsabhängiger Einflüsse sollte die Windengeschwindigkeit ungefähr 1 m/s betragen.

Die Windgeschwindigkeit muss aufgezeichnet werden und weniger als 2 m/s betragen. Folgerichtig können Schleppversuche im Tunnel durchgeführt werden, um Windeinflüsse zu minimieren.

Wegen Adhäsionseffekten, des Spiels in den Wagenkupplungen usw. ist die Losbrechphase zu unterdrücken. Die Masse des Zuges muss zu Korrekturzwecken auf ± 2 % genau bekannt sein, die Achslager müssen auf Betriebstemperatur sein.

Die Unsicherheit für die Bestimmung von C_1 aus diesem Versuch muss geringer als 10 % sein.

4.5.3 Anforderungen für Auslaufversuche

Wird die Regressionsmethode benutzt, muss der Auslaufversuch auf einer Strecke durchgeführt werden, die hierzu so gut wie möglich geeignet ist, d. h. gerade und eben. Der äquivalente Streckenwiderstand, der die Gleislängsneigung und Gleisbögen berücksichtigt, muss im Vergleich zum Laufwiderstand klein sein. Diese Forderung muss nicht erfüllt sein beim Geschwindigkeitsverlaufsverfahren, bei dem die Gleislängsneigung und Gleisbögen in der Auswertung berücksichtigt werden. Bei beiden Auswerteverfahren ist sicherzustellen, dass der untersuchte Zug die Versuchsstrecke mit seiner Maximalgeschwindigkeit durchfährt. Weiterhin müssen die Charakteristika der Versuchsstrecke (Gleislängsneigungen und Kurvenradien) genau bekannt sein. Falls diese Charakteristika nicht leicht verfügbar sind, können alternativ alle drei Beschleunigungskomponenten durch Beschleunigungsmesser gemessen werden. Die meteorologischen Bedingungen wie Windgeschwindigkeit, Luftdruck, Luftfeuchte und Lufttemperatur müssen im Idealfall entweder an der Versuchsstrecke oder außen am Zug gemessen werden. Es ist wichtig, dass die Position des Zuges relativ zur Gleislängsneigung, zu Gleisbogenänderungen und zur meteorologischen Messstation bekannt ist. Zum Beispiel können vom Zug aus lesbare Start/Stopp-Markierungen benutzt werden, um die Ein- und Ausfahrt in und aus der Versuchsstrecke zu bestimmen.

Die Zusammenstellung und die Masse des Zuges, im Idealfall im betrieblichen Normalzustand, sollte bei jeder Versuchsfahrt gleich sein. Falls dies nicht der Fall ist, sind die Unterschiede bei der Auswertung zu berücksichtigen. Die Zugmasse und der k -Faktor, der die in den rotierenden Massen gespeicherte Energie berücksichtigt, müssen mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ bekannt sein. Der k -Faktor kann mit einem Auslaufversuch bergauf mit geringer Anfangsgeschwindigkeit, bei dem der Zug zum Stillstand kommt, ermittelt werden. Die Achslager müssen auf normaler Betriebstemperatur sein. Weiterhin muss sich das gesamte Kühlsystem in einem definierten und zeitstabilen Zustand befinden, um nicht systematische Abweichungen in die Messungen einfließen zu lassen. Der Zug muss mit einem Wegstreckenmesser und einem Geschwindigkeitsmesser ausgerüstet sein, die eine Geschwindigkeitsbestimmung mit einer Genauigkeit von $\pm 1\%$ oder ± 1 km/h erlauben, je nachdem welcher Wert der größere ist.

Im Idealfall werden Auslaufversuche von der maximalen Zuggeschwindigkeit $v_{tr,max}$ bis zum Stillstand durchgeführt. Es ist zulässig, die Versuche auf den Geschwindigkeitsbereich $[v_{tr,max}; v_{tr,max}/3]$ zu beschränken. Dieser eingeschränkte Geschwindigkeitsbereich kann entweder in einem oder in mehreren Versuchsläufen durchfahren werden. Im letzteren Fall sollte die Geschwindigkeit am Beginn der Teststrecke schrittweise variiert werden, z. B. in Schritten von $v_{tr,max}/20$ im Geschwindigkeitsbereich $[v_{tr,max}; v_{tr,max}/3]$.

Die wichtigen Messgrößen wie Geschwindigkeit, Beschleunigung usw. müssen mit mindestens 10 Werten je Sekunde aufgezeichnet werden. Äußere Einflüsse wie begegnende Züge, Tunnel, Brücken, Weichen oder Kreuzungen müssen bezüglich Zeitpunkt und Ort sorgfältig registriert werden. Die Messdaten, die während der Vorbeifahrt an solchen Besonderheiten aufgezeichnet wurden, sollten von der Auswertung ausgenommen werden. Für die Regressionsmethode wird ein Minimum von drei Läufen über den gesamten Geschwindigkeitsbereich empfohlen, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, und zur statistischen Analyse bei späterer Analyse. Für das Geschwindigkeitsverlaufsverfahren sollten mindestens drei Läufe von $v_{tr,max}$ bis $v_{tr,max}/3$ durchgeführt werden.

Bei der Auswertung der Auslaufversuche wird der Arbeitssatz genutzt:

$$km\gamma = \sum R_i = -(R_1 + R_2) \quad (2)$$

Dabei ist

- k die Berücksichtigung der kinetischen Energie der rotierenden Massen;
- m die Masse des Zuges;
- γ die gemessene Beschleunigung des Zuges während der Auslaufversuche;
- $\sum R_i$ die Summe aller Laufwiderstandskräfte.

Die Beschleunigung des Zuges γ kann direkt während der Auslaufversuche gemessen werden oder durch Berechnung der Ableitung der Geschwindigkeit zwischen zwei Zeit- oder Streckenpunkten bestimmt werden. Bei der Regressionsmethode sind Messdaten, die durch Änderungen der Gleislängsneigung beeinflusst wurden, von der Auswertung auszunehmen. Bei beiden Auswerteverfahren sind Messdaten, die durch das Abschalten der Zugkraft beeinflusst wurden, von der Auswertung auszunehmen. Die während der Auslaufversuche gemessenen Daten, wie Zuggeschwindigkeit, Beschleunigung usw., sollten mit einem Tiefpass gefiltert werden. Falls in der Versuchsstrecke Kurven oder Neigungen vorhanden sind, müssen die entsprechenden Bogenwiderstände und der Einfluss des Streckengefälles als Teil des gesamten Laufwiderstands berücksichtigt werden. Der äquivalente Bogenwiderstand und der Einfluss des Streckengefälles ist gegeben durch die folgende Gleichung:

$$R_2 = m \cdot g \left(i + \frac{800}{r} \right) \quad (3)$$

Dabei ist

- g die Gravitationsbeschleunigung;
- m die Masse des Zuges;
- i die Streckenlängsneigung in 0,1 %;
- r der Bogenradius in Metern ($800/r = 0$ für eine gerade Strecke).

Für jeden Auslaufversuch müssen Änderungen der Zugmasse und der meteorologischen Bedingungen durch Korrekturen berücksichtigt werden.

Bei der Regressionsmethode wird der Laufwiderstand unter Verwendung der Gleichungen (1) bis (3) abhängig von der Zuggeschwindigkeit dargestellt. Eine Schätzung der Koeffizienten C_1 , C_2 , und C_3 wird durch Anpassung einer berechneten Kurve an die gemessenen Daten erhalten. Um verlässlichere Ergebnisse zu erhalten, muss der C_1 -Koeffizient auf den massenkorrigierten Wert der Schleppversuche festgelegt werden. Der C_2 -Koeffizient kann ebenfalls durch Schätzung des Impulsverlusts der Kühlluft oder einen anspruchsvolleren Ansatz festgelegt werden. Es ist wichtig, ein Kriterium vorzugeben, das die Güte der Anpassung der berechneten Kurve an die Messdaten beschreibt. Bei der Regressionsmethode kann dies der Korrelationskoeffizient sein. Bei der Regressionsmethode ist eine gleiche Gewichtung der Messdaten bei der Anpassung der theoretischen Kurve sicherzustellen.

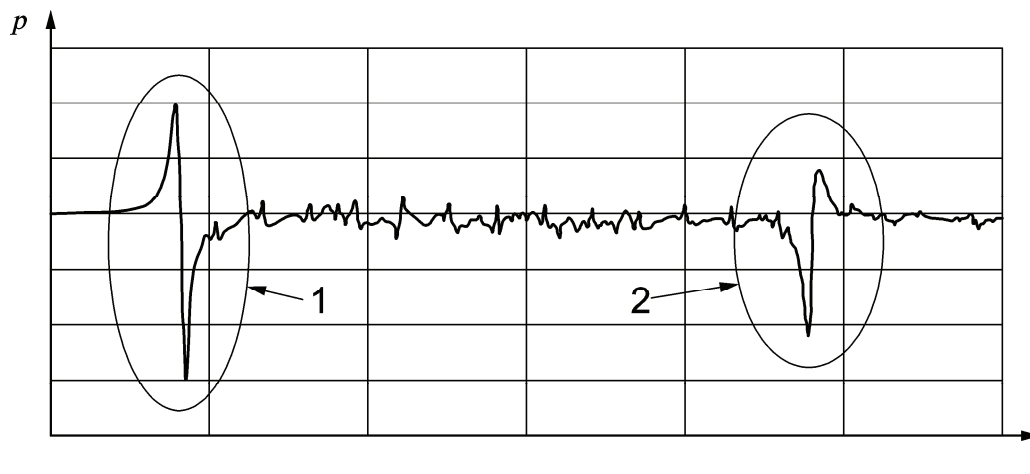
Das Geschwindigkeitsverlaufsverfahren ist iterativ und basiert auf der Berechnung der Auslaufzeit t als Funktion der Zuggeschwindigkeit v_{tr} unter Verwendung angenommener Widerstandsgleichungen. Die Parameter in den Widerstandsgleichungen werden angepasst, bis eine gute Übereinstimmung zwischen berechnetem und gemessenem $v_{tr} \sim t$ -Verlauf vorliegt. Ein Gütemaß ist festzulegen, d. h. der Mittelwert der Differenzen von berechneter und gemessener Geschwindigkeit im ganzen Auslaufversuch. Das Integral von $k m d v_{tr} / R_1$, das die Auslaufzeit zwischen zwei Geschwindigkeitswerten ergibt, wird numerisch berechnet. Bei jedem Geschwindigkeitsschritt sind alle den Laufwiderstand beeinflussenden Parameter anzupassen, so dass sich eine perfekte Simulation des Versuchslaufs ergibt.

Die Mittelwerte von R_1 und ihre Standardabweichungen sollten angegeben werden.

5 Belastung von Objekten durch zugverursachte Druckänderungen

5.1 Allgemeines

Bild 1 zeigt einen typischen zeitlichen Druckverlauf, den ein Zug bei der Vorbeifahrt an einem Punkt auf einer gleisparallelen, vertikalen Wand hervorruft.



Legende

- 1 Kopfvorbeifahrt
- 2 Heckvorbeifahrt

Bild 1 — Zeitlicher Druckverlauf an einer gleisparallelen, vertikalen Wand bei der Vorbeifahrt eines Zuges

5.2 Bewertung anhand von Näherungsgleichungen

5.2.1 Allgemeine Anmerkungen und Anwendung

Bei der Berechnung der mechanischen Festigkeit und der Dauerfestigkeit einer Struktur sind die aerodynamischen Belastungen durch Zugkopf und Heck mit gleicher Amplitude zu berücksichtigen, ebenso die Kuppelstelle bei am Kopf gekuppelten Zugsinheiten. Es ist von der größten während der gesamten Zugvorbeifahrt auftretenden Amplitude auszugehen. Die aerodynamischen Belastungen sind in jedem Fall senkrecht zur Oberfläche der Struktur anzusetzen. Sie sind als charakteristische Drücke definiert.

Die folgenden Abschnitte erlauben eine Ermittlung der charakteristischen Drücke, die mit den graphischen Darstellungen in EN 1991-2 übereinstimmen. Durch die Angabe von Gleichungen ist jedoch eine breitere Anwendung möglich. Es ist unbedingt zu beachten, dass die angegebenen charakteristischen Drücke die maximalen (dynamischen) über die Fläche gemittelten Belastungen der Strukturen darstellen.

Weil eine Zugvorbeifahrt keine statische Belastung hervorruft, können die charakteristischen Werte nicht als maximale statische Last angesehen werden. Berechnungen zur Dauerfestigkeit erfordern zusätzliche Informationen zum dynamischen Verhalten der Struktur, zur Zahl der Lastwechsel sowie detailliertere Kenntnis der Dynamik der zugverursachten Druckwechsel usw.

5.2.2 Ebene vertikale Strukturen parallel zum Gleis

Die folgenden Strukturen gehören zu dieser Kategorie:

- Schallschutzwände;
- Schutzwände;
- Fassaden gleisnaher Gebäude.