

DIN EN 14067-5

ICS 45.060.01; 93.060

Einsprüche bis 2004-03-31

Entwurf**Bahnanwendungen –****Aerodynamik –****Teil 5: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik im Tunnel;
Deutsche Fassung prEN 14067-5:2003**

Railway applications –

Aerodynamics –

Part 5: Requirements and test procedures for aerodynamics in tunnels;

German version prEN 14067-5:2003

Applications ferroviaires –

Aérodynamique –

Partie 5: Prescriptions et méthodes d'essai pour aérodynamique en tunnels;

Version allemande prEN 14067-5:2003

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 fsf@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN (Hausanschrift: Panoramaweg 1, 34131 Kassel).

Gesamtumfang 34 Seiten

Normenausschuss Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde unter Federführung der WG 6 „Aerodynamik“ (Vorsitz: Deutschland) des CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ (Sekretariat: Deutschland) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Arbeitsgremium ist der Arbeitsausschuss 4.03 „Aerodynamik“ des Normenausschusses Schienenfahrzeuge (FSF).

Bahnanwendungen — Aerodynamik — Teil 5: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik im Tunnel

Applications ferroviaires — Aérodynamique — Partie 5 : Prescriptions et méthodes d'essai pour aérodynamique en tunnels

Railway applications — Aerodynamics — Part 5: Requirements and test procedures for aerodynamics in tunnels

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.1c

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen	4
4 Methoden zur Quantifizierung der Druckänderungen zur Einhaltung des Gesundheitskriteriums	4
4.1 Allgemeines	4
4.2 Zug/Tunnel-Druckverlauf.....	4
4.2.1 Messung der Werte Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP} im Maßstab 1:1 an einem festen Ort im Tunnel	5
4.2.2 Messungen der Werte $\Delta p_{N,o}$, $\Delta p_{fr,o}$ und $\Delta p_{T,o}$ im Zug im Maßstab 1:1	6
4.2.3 Berechnung von Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP}	6
4.2.4 Messung der Werte Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP} im reduzierten Maßstab an einem festen Ort im Tunnel.....	7
4.3 Medizinischer Grenzwert.....	7
5 Auf nicht druckdichte Züge einwirkende Kräfte	8
6 Druckbelastung bei druckdichten Zügen in Tunneln	11
6.1 Tunneldurchfahrt eines einzelnen Zuges	11
6.1.1 Allgemeines	11
6.1.2 Anzahl der Tunneldurchfahrten eines einzelnen Zuges	13
6.2 Begegnung zweier Züge im Tunnel.....	13
6.2.1 Allgemeines	13
6.2.2 Anzahl der Zugbegegnungen.....	14
6.2.3 Auswertung der Druckbelastungen	16
Anhang A (informativ) Vorhersageformeln	19
A.1 SNCF-Methode [7, 8]	19
A.1.1 Einfahrt der Zugspitze	19
A.1.2 Einfahrt des Hauptteils des Zuges	19
A.1.3 Einfahrt des Zugendes	20
A.2 Methode der TU Wien [9]	20
A.2.1 Formelzeichen	20
A.2.2 Berechnung von Δp_N	21
A.2.3 Berechnung von Δp_{fr}	22
A.2.4 Berechnung von Δp_T	23
A.2.5 Berechnung des Druckabfalls Δp_{HP} bei Vorbeifahrt der Zugspitze	24
A.2.6 Berechnung des Widerstandsbeiwertes $C_{x,tu}$	24
Anhang B (informativ) Kriterien für den Druckkomfort	27
B.1 Nicht druckdichte Züge (üblicherweise mit $\tau_{dyn} < 0,5$ s)	27
B.2 Druckdichte Züge (üblicherweise mit $\tau_{dyn} > 0,5$ s)	27
Anhang C (informativ) Mikrodruckwelle	28
C.1 Entstehung der Welle	28
C.2 Wellenausbreitung	29
C.3 Wellenabstrahlung	29
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen von EU-Richtlinien	31
Literaturhinweise	32

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 14067-5:2003) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

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

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokumentes ist.

Diese Europäische Norm ist Teil der Normenreihe „Bahnanwendungen – Aerodynamik“, die aus 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*

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für die Beschreibung der aerodynamischen Belastung von Zügen bei der Fahrt durch einen Tunnel.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische 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 zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

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

3 Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in EN 14067-1 angegebenen Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen. Weitere Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen werden im Text erläutert.

4 Methoden zur Quantifizierung der Druckänderungen zur Einhaltung des Gesundheitskriteriums

4.1 Allgemeines

Die durch die Fahrt von Zügen durch einen Tunnel verursachten relevanten Druckänderungen können im Maßstab 1:1 gemessen, an Hand von Näherungsformeln (siehe Anhang A) geschätzt, mit Hilfe validierter Programme vorhergesagt oder bei Versuchen mit sich bewegenden Modellen (Moving-Model-Versuchen) gemessen werden. Bei der Schätzung der Druckschwankungen zur Einhaltung der medizinischen Grenzwerte für die Druckbelastung kann ebenso verfahren werden.

Jede einzelne Kombination von Zug und Tunnel wird durch einen Zug/Tunnel-Druckverlauf beschrieben.

4.2 Zug/Tunnel-Druckverlauf

Der Druckverlauf kann an Hand von Berechnungen oder Messungen an einem festen Ort in einem Tunnel abgeleitet werden, d. h. an Hand der vier Druckänderungen Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP} an einem bestimmten Punkt im Tunnel (siehe 4.2.1).

Werden in einem Tunnel Messungen vorgenommen, dann sollte der Tunnel über einen konstanten Querschnitt verfügen, keine Luftschächte haben und keine weiteren Druckwellen mehr aufweisen. Idealerweise sollte in dem Tunnel keine Grundströmung herrschen. Ist dies dennoch der Fall, dann sollte ihr Einfluss auf die Messungen geprüft werden.

Zur Charakterisierung der aerodynamischen Qualität eines Zuges in einem Tunnel sind die folgenden Methoden geeignet:

4.2.1 Messung der Werte Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP} im Maßstab 1:1 an einem festen Ort im Tunnel

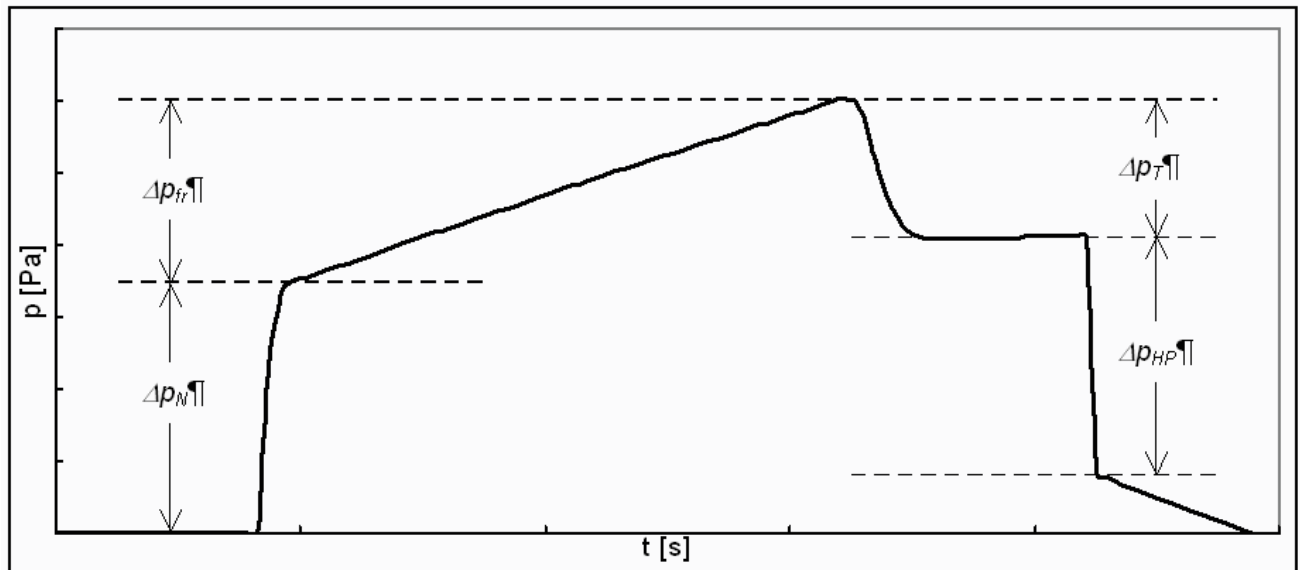


Bild 1 — Zug/Tunnel-Druckverlauf an einem festen Ort in einem Tunnel

Wenn ein Zug in den Tunnel einfährt, entwickelt sich der statische Druck im Tunnel wie folgt:

- durch die Einfahrt der Zugspitze in den Tunnel kommt es zu einem starken Druckanstieg Δp_N ;
- auf Grund der Reibungseffekte, die durch die Einfahrt des Hauptteils des Zuges in den Tunnel verursacht werden, kommt es zu einem zweiten Druckanstieg Δp_{fr} ;
- danach wird durch die Einfahrt des Zugschlusses in den Tunnel ein Druckabfall Δp_T verursacht;
- durch die Vorbeifahrt der Zugspitze an dem festen Ort im Tunnel kommt es zu einem erheblichen Druckabfall Δp_{HP} .

Um genaue Werte für Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP} bei einem vollständig entwickelten Wellenmuster zu erhalten, ist sicherzustellen, dass bei einer Zuggeschwindigkeit v_{tr} und einer Zuglänge L_{tr} die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Die Gleichung für den Abstand x_p zwischen dem Einfahrportal und der Messposition lautet

$$x_p = \frac{cL_{tr}}{c - v_{tr}} + x_1 \quad (1)$$

dabei stellt der Entfernungszuschlag Δx_1 eine wirksame Trennung der einzelnen Wellen sicher; er sollte idealer Weise etwa 100 m betragen. Die Messvorrichtung sollte in x_p installiert werden, um eine Dämpfung der Druckwellen zu vermeiden;

- die Gleichung für die Mindesttunnellänge lautet

$$L_{tu,min} = x_p + \frac{cL_{tr}}{2v_{tr}} + \Delta L_1 \quad \text{für eingleisige Tunnel} \quad (2)$$

$$L_{tu,min} = \frac{x_p}{2} \left(1 + \frac{c}{v_{tr}} \right) + \Delta L_1 \quad \text{für zweigleisige Tunnel} \quad (3)$$

dabei stellt der Längenzuschlag ΔL_1 eine wirksame Trennung der einzelnen Wellen sicher; er sollte idealer Weise etwa 150 m betragen.

4.2.2 Messungen der Werte $\Delta p_{N,o}$, $\Delta p_{fr,o}$ und $\Delta p_{T,o}$ im Zug im Maßstab 1:1

Ist es nicht möglich, die Messungen an festen Orten in einem Tunnel durchzuführen, so können für Δp_N , Δp_{fr} und Δp_T Näherungswerte durch Messungen von $\Delta p_{N,o}$, $\Delta p_{fr,o}$ und $\Delta p_{T,o}$ im Zug ermittelt werden. Bei zweigleisigen Tunneln kann Δp_{hp} entweder aus Vorhersageformeln abgeleitet werden, oder es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Wert gleich $\Delta p_{N,o}$ ist.

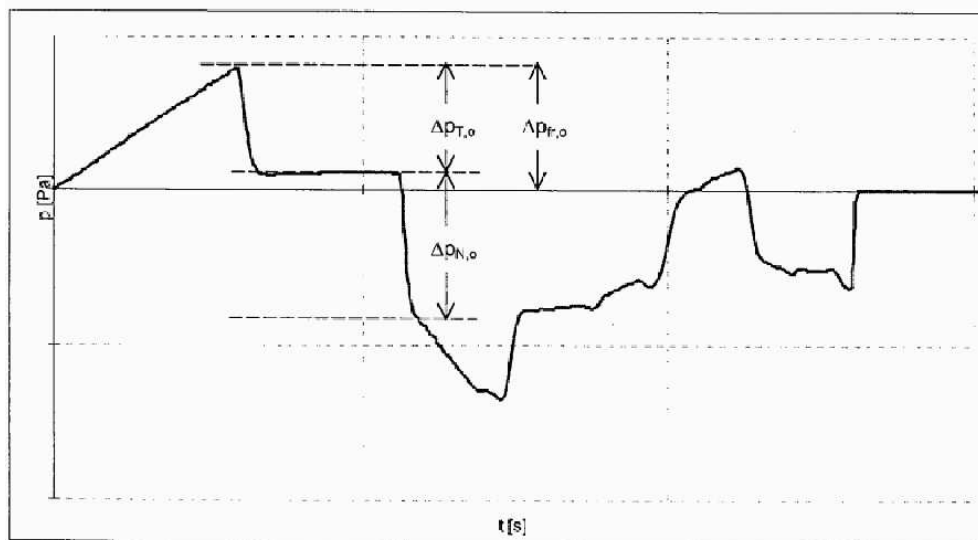


Bild 2 — Zug/Tunnel-Druckverlauf an einer Stelle im Zug unmittelbar hinter der Zugspitze

Um den gesamten Anstieg des Reibungsdrucks Δp_{fr} zu ermitteln, sind die Drücke an der Zugaußenseite unmittelbar hinter der Zugspitze zu messen, d. h. dort, wo der volle Querschnitt erreicht ist.

Die Gleichung für die Mindesttunnellänge $L_{tu,min}$ lautet:

$$L_{tu,min} = \frac{L_{tr}}{2} \frac{c}{v_{tr}} \left(\frac{c + v_{tr}}{c - v_{tr}} \right) + \Delta L_2 \quad (4)$$

dabei stellt der Längenzuschlag ΔL_2 eine wirksame Trennung der einzelnen Wellen sicher; er sollte idealer Weise etwa 200 m betragen.

Da die Amplitude der ersten Reflexion der Kopfwelle $\Delta p_{N,o}$ durch die Reibung in Abhängigkeit von der Tunnellänge reduziert wird, sollte der Tunnel nicht erheblich länger als $L_{tu,min}$ sein.

4.2.3 Berechnung von Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP}

Die Berechnungen können mit validierten Rechenprogrammen ausgeführt werden. Zur Ermittlung von Schätzwerten für Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP} können die in A.1 und A.2 aufgeführten Formeln verwendet werden.

Die Mindesttunnellänge und die Messposition müssen mit den in 4.2.1 angegebenen Abmessungen übereinstimmen.

4.2.4 Messung der Werte Δp_N , Δp_{fr} , Δp_T und Δp_{HP} im reduzierten Maßstab an einem festen Ort im Tunnel

Es sollten Modelle des Versuchszugs gebaut werden, die Zugspitze und Zugschluss genau wiedergeben und eine gute Darstellung der Drehgestelle, der Zwischenräume zwischen den einzelnen Wagen und der Merkmale der Außenflächen des Zuges bieten. Die Versuchsmodelle für den Versuchszug müssen im Maßstab 1:25 oder größer sein, um sicher zu stellen, dass die Effekte der Reynolds-Zahl minimiert werden. Es ist äußerst wichtig, die Mach-Zahl des Zuges in Großausführung einzuhalten.

Bei Tunnel- und Zugmodellen in reduziertem Maßstab reproduzieren die Druckwellen im Tunnel diejenigen in Großausführung mit Ausnahme der Tatsache, dass der charakteristische Zeitmaßstab um den Modellmaßstab reduziert wird. So treten bei einem Versuch im Maßstab 1:25 alle Druckwellen in einem charakteristischen Zeitmaßstab auf, der 25mal so schnell ist wie in Großausführung.

In den meisten Fällen ist die Verwendung von Modellen, die die Zuglänge im Maßstab 1:1 wiedergeben, nicht praktikabel. Für diesen Zweck ist ein Zugmodell zu verwenden, das mindestens aus einem führenden und einem Schlussfahrzeug sowie zwei Mittelwagen besteht. Der Reibungsanteil des Druckverlaufs für diese Modelle mit reduzierter Länge reproduziert, wie festgestellt wurde, den Druckanstieg in vollem Umfang, sofern die volle Länge durch Extrapolation berücksichtigt wird. Bei Verwendung kürzerer Zugmodelle ergeben sich für Δp_T und Δp_{HP} konservative Werte.

Das Tunnelmodell muss fest und sehr gut gegenüber dem Prüfstand abgedichtet sein, um eine Reduzierung der Druckwellenamplitude auszuschließen. Die Mindesttunnellänge und die Messposition müssen die in 4.2.1 angegebenen Abmessungen einhalten, angepasst auf den Modellmaßstab.

Für die Druckmessungen werden im Tunnel Druckaufnehmer eingesetzt. Diese sollten vor dem Einsatz für den zu erwartenden Druckwertebereich, typischer Weise ± 4 kPa, kalibriert werden. Der Messfehler sollte weniger als 1 % des erwarteten Wertebereichs betragen.

Die Zuggeschwindigkeit muss während der Einfahrt in den Tunnel und bis zu dem Messpunkt möglichst konstant sein.

Die Datenstichproben werden bei mindestens $40 \nu_{tr}/L_{tr, model}$ Hz genommen, wobei Anti-Aliasing-Filter mit einer Cut-off-Frequenz von einem Viertel der Abtastfrequenz verwendet werden.

4.3 Medizinischer Grenzwert

Die maximale Druckänderung (Spitze-zu-Spitze), der Fahrgäste und Zugpersonal ausgesetzt sind, darf innerhalb der Zeit, während der der Zug durch einen bestimmten Tunnel¹⁾ fährt, zu keiner Zeit und in keiner betrieblichen Situation 10 kPa übersteigen.

Grenzwerte:

$$\text{zweigleisiger Tunnel: } 2\Delta p_N + 2\Delta p_{fr} + 2\Delta p_T + \Delta p_{HP} + \Delta p_{alt} < 10 \text{ kPa} \quad (5)$$

$$\text{eingleisiger Tunnel: } \Delta p_N + \Delta p_{fr} + \Delta p_T + \Delta p_{alt} < 10 \text{ kPa} \quad (6)$$

dabei ist

$$\Delta p_{alt} = g\rho_0|\Delta h| \quad (7)$$

¹⁾ Es ist zu beachten, dass die betrachteten aerodynamischen Druckschwankungen nur in äußerst seltenen Notsituationen auftreten – im normalen Zugbetrieb sind derartig extreme Bedingungen nicht anzutreffen. Allerdings sollte eine kleine Minderheit von Personen mit bestimmten Gehörkrankungen ihren Arzt hinzuziehen, wie dies auch im Luftverkehr übliche Praxis ist, bevor sie mit einem Hochgeschwindigkeitszug reist (siehe Ref. ERRI C 218 RP 5).

die natürliche, durch geodätische Höhenunterschiede bedingte Druckschwankung

$$\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

und Δh die Differenz zwischen den geodätischen Höchst- und Mindesthöhen im Tunnel.

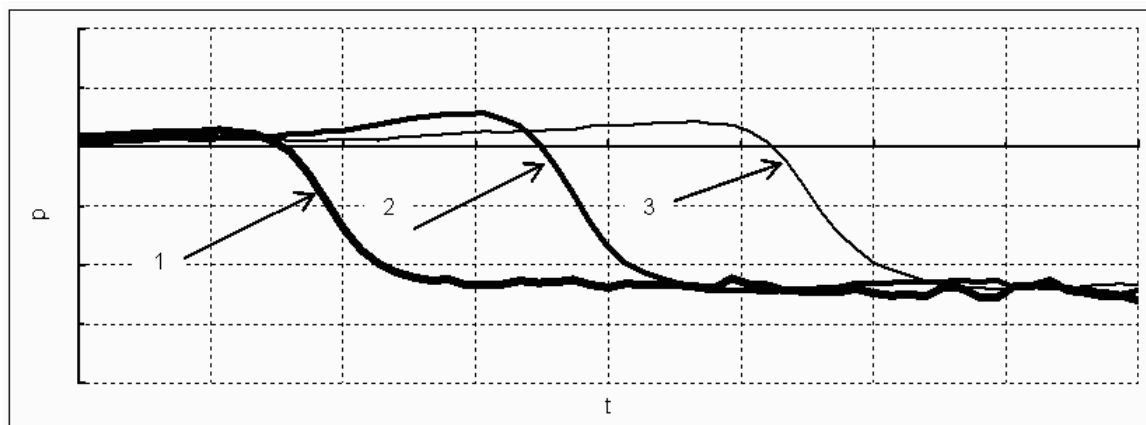
Dies ist sicherzustellen für

- die maximale Zuggeschwindigkeit im Tunnel,
- die maximale Zuglänge.

Werden die Kriterien nicht erfüllt, dann ist durch gesonderte Berechnungen und/oder Versuche im Maßstab 1:1 mit zwei Zügen nachzuweisen, dass die maximale Druckänderung $< 10 \text{ kPa}$ ist.

5 Auf nicht druckdichte Züge einwirkende Kräfte

Wenn die Spitze eines Zuges an einem anderen Zug vorüberfährt, dann tritt ein Druckabfall auf, der sich mit der relativen Geschwindigkeit der Züge bewegt (siehe Bild 3). Bei der Vorbeifahrt des Zugendes kommt es zu einem Druckanstieg. Der Gradient dieser Druckänderungen kann deutlich steiler sein als der Gradient der durch den Zug erzeugten Druckwellen. Diese Druckänderungen können wegen dieses steilen Verlaufs zu einer Belastung nicht druckdichter Fahrzeuge führen.

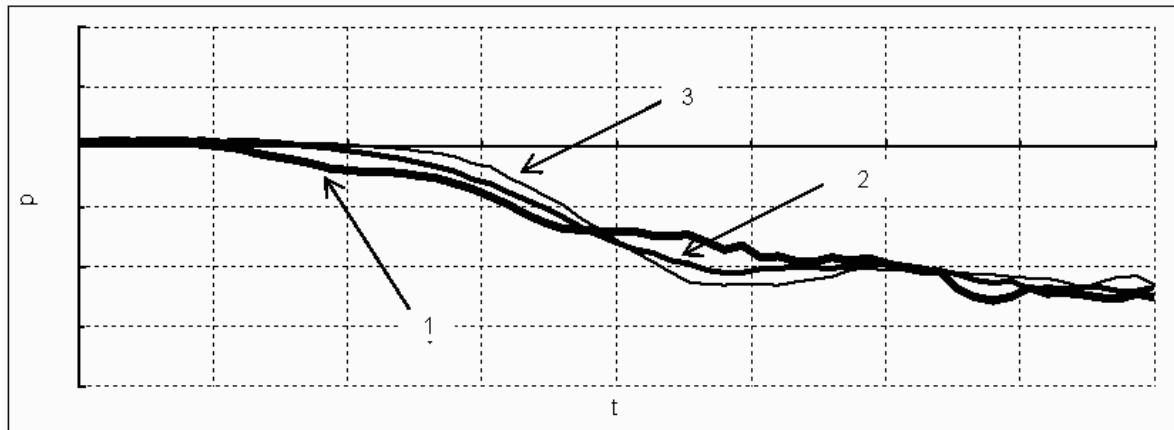


Legende

- 1 Außendruck vorn
- 2 Außendruck in der Mitte
- 3 Außendruck vorn

Bild 3 — Abfall des Außendrucks wegen der Vorbeifahrt der Zugspitze eines entgegen kommenden Zuges

Wenn die Zugspitze des entgegen kommenden Zuges die Spitze des nicht druckdichten Fahrzeugs passiert, beginnt auch der Innendruck abzufallen. Da die Informationen über den Druckabfall an der Spitze innerhalb des Fahrzeugs mit Schallgeschwindigkeit übertragen werden, ist der Innendruck fast unabhängig von dem Standort innerhalb des Fahrzeugs (siehe Bild 4).



Legende

- 1 Innendruck vorn
- 2 Innendruck in der Mitte
- 3 Innendruck vorn

Bild 4 — Entwicklung des Innendrucks im Innern eines nicht druckdichten Fahrzeugs bei Vorbeifahrt der Zugspitze eines entgegen kommenden Zuges

In Bild 5 sind die Unterschiede zwischen Innen- und Außendruck an Positionen an der Spitze, in der Mitte und am Ende eines nicht druckdichten Fahrzeugs dargestellt.

Vorn tritt der Abfall des Außen- und des Innendrucks gleichzeitig ein. Wegen des steileren Gradienten des Abfalls des Außendrucks bewirkt der Druckunterschied eine Belastung von innen nach außen, was bei Türen, die sich nach außen öffnen, von Bedeutung sein kann.

In der Mitte eines nicht druckdichten Fahrzeugs setzt der Abfall des Innendrucks früher ein als der Abfall des Außendrucks. Dies führt zunächst zu einem Druckunterschied von außen nach innen, der dann seine Richtung umkehrt.

Am Ende des nicht druckdichten Fahrzeugs tritt der Abfall des Innendrucks früher ein als der Abfall des Außendrucks. Der sich daraus ergebende Druckunterschied bewirkt eine Belastung von außen nach innen, was bei Fahrzeugen von Bedeutung sein kann, die mit einer Plane abgedeckt sind, z. B. bei der Beförderung von Wechselbehältern.