

Die Entwicklung der Verkehrsbelastung und ihre Einflüsse auf die Funktionstüchtigkeit von stählernen Eisenbahnbrücken

Autor(en): **Hofmann, Gotthardt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **21 (1975)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-18774>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Entwicklung der Verkehrsbelastung und ihre Einflüsse auf die Funktionstüchtigkeit von stählernen Eisenbahnbrücken

Development of Traffic Load and its Influence on the Serviceability of Metal Railway Bridges

Développement des charges appliquées et son influence sur la serviceabilité des ponts-rails métalliques

Gotthardt HOFMANN

o. Prof. Dr.-Ing.

Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“

Dresden, DDR

Anlässlich der Untersuchungen zur Formulierung eines Betriebsfestigkeitsnachweises für stählerne Eisenbahnbrücken der DR und durch die Auswertung von Schäden an neueren Brücken wurden einige Elemente der Verkehrsbelastung als bedeutungsvoll für die Funktionstüchtigkeit erkannt, denen offenbar nicht immer die erforderliche Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Im folgenden wird der Versuch unternommen, die Erkenntnisse in Kurzform darzustellen. Da Eisenbahnbrücken in der Regel langlebige Konstruktionen mit einem Nutzungszeitraum von 50 bis mehr als 100 Jahren sind, ist es zur Verringerung des physischen und moralischen Verschleißes erforderlich, die zukünftige Verkehrsbelastung möglichst zutreffend abzuschätzen. Dazu gehören alle Elemente der Verkehrsbelastung, die für Berechnungen (Nachweise) von Bedeutung sind, bzw. die als häufige Ursachen von Schäden erkannt wurden. Dabei ist es notwendig, darauf hinzuweisen, daß die einzelnen Einflüsse nur selten allein, sondern auch mit Besonderheiten der Konstruktionen gemeinsam wirken. Solche Besonderheiten sind u.a. statische Systeme, die Werkstoffgüte und die Art der Verbindungsmittel. Trotz der langen Nutzungsdauer oder vielleicht gerade ihretwegen wird sie in keinem der bekannten Nachweise in der Festigkeitsberechnung für stählerne Eisenbahnbrücken der DR und auch anderer Bahnverwaltungen berücksichtigt, selbst beim Dauerfestigkeitsnachweis nur bedingt, für den bekanntlich als Lastspielzahl $N > 2 \cdot 10^6$ global angenommen wird. Nur für den Fall, daß der Ermüdungsfestigkeitsnachweis als "Zeitfestigkeitsnachweis" geführt wird, kann die Nutzungsdauer aus den konkreten Angaben über die zu erwartende Lastspielzahl abgeleitet werden. Wird dabei die Veränderlichkeit der Spannungsamplituden berücksichtigt, bezeichnen wir diesen Nachweis als "Betriebsfestigkeitsnachweis" oder auch als "Lebensdauernachweis".

In die genannten Untersuchungen wurden u.a. folgende "Elemente" der Verkehrsbelastung einbezogen:

Achslasten

Achsabstände

Reihung der Fahrzeuge eines Zuges

Belegung der Strecke

Anteile an der Belegung durch Reisezüge
Güterzüge
Schwerlastzüge

Zahl der Achsen / Zug

Fahrgeschwindigkeit

Stoßartige Wirkungen.

Als " abgeleitete " Elemente wirken außerdem Fliehkräfte, Seitenstöße und Brems- bzw. Anfahrkräfte.

Die Bedeutung der einzelnen Elemente wird bewertet anhand der 5 bekannten Nachweise (allgemeiner Spannungsnachweis, Dauerfestigkeitsnachweis bzw. Betriebsfestigkeitsnachweis, Stabilitätsnachweis, Formänderungsnachweis und Standsicherheitsnachweis) und zusätzlich im Zusammenhang mit der Sprödbruchempfindlichkeit und der Schwinganfälligkeit.

Speziell für den Betriebsfestigkeitsnachweis, also mit Berücksichtigung einer determinierten Lebensdauer erfolgte eine umfangreiche Untersuchung über die mögliche Entwicklung der Verkehrsbelastung des Streckennetzes der DR bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts. Es wurden Bedingungen der Volkswirtschaft, erkennbare Entwicklungstendenzen der Fahrzeug- und Sicherungstechnik und der Traktionsänderungen berücksichtigt. Alle Untersuchungen gingen von der Forderung aus, das Brückenbauwerk nicht durch die Annahme zu günstiger Bedingungen zum Hemmnis für den Betrieb beim Eintreten größerer Belastungen werden zu lassen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen für das Streckennetz der DR lassen sich stark vereinfacht wie folgt charakterisieren:

- Alle Fahrzeuge, sowohl die z.Zt. verkehrenden als auch die im zukünftigen Zeitraum zu erwartenden, wurden durch 35 Be-messungsfahrzeuge stellvertretend ersetzt. Davon entfallen auf

Loks	3	
Triebzüge	1	
Reisezugwagen	4	
Güterwagen	22	(jeweils voll beladen und leer)
Schwerlasttransporter	2	
Güterwagen in geschlossenen Zügen	3	

- Für die Achskräfte wurden 13 Werte zwischen 7 und 27,5 Mp/Achse ermittelt.
- Als Achsabstände der Fahrzeuge wurden 26 Werte innerhalb der Grenzen von 1,5 und 13,8 m fixiert.
- Die Zahl der Achsen liegt bei

Loks	zwischen 6 und 10,
bei Reisezugwagen	zwischen 2 und 4 und
bei Güterwagen aller Art	zwischen 2 und 20.

- Der Anteil des Reiseverkehrs am Gesamtverkehr wird bis zum Jahre 2050 gleichbleibend mit 30 % angenommen.
- Der Schwerlastverkehr (Teil des Güterverkehrs) entspricht in bezug auf die Schnittkräfte etwa denen des Lastenzuges DR und somit der zu erwartenden Höchstbelastung.
- Der Schwerlastverkehr wird auf den Hauptstrecken im Jahre 2050 mit 20 % vom Gesamtverkehr und auf einigen Sonderstrecken mit 40 % angenommen. Er nimmt vom Jahre 1980 an linear zu.
- Alle Zugkategorien werden durch 7 Ersatzbetriebslastenzüge ersetzt. Für Strecken mit besonderer Verkehrsstruktur werden weitere 5 Ersatzbetriebslastenzüge bereitgestellt.
- Die Belegung wird je nach Streckenart zwischen 50 und 185 Zügen am Tag ermittelt.
- Die Zahl der Achsen wird zunächst für alle Zugkategorien gleichgroß mit 80 Achsen / Zug angenommen.
- Die Geschwindigkeit wird sich unter bestimmten Bedingungen auf 160 km/h erhöhen.

Die Untersuchungen zur Ermittlung der Nutzungsdauer L sind noch nicht abgeschlossen. Hier wirken im ökonomischen Vergleich besondere Faktoren zur Erzielung optimaler Erhaltungstechnologien und zur Minimierung der Kosten für Neubauten. Es zeichnet sich folgendes ab: Bei Überbauten bis 30 m Länge könnte mit einer Nutzungsdauer von 50 Jahren und bei Überbauten über 80 m Länge mit einer Nutzungsdauer von 100 Jahren, in einzelnen Fällen auch länger, gerechnet werden.

Die Wirkung der untersuchten Elemente der Verkehrsbelastung wurde u.a. an den beiden grundlegenden Parametern eines vorgeschlagenen Systems für den Betriebsfestigkeitsnachweis gemessen bzw. abgeschätzt. Ohne auf die Einzelheiten dieses Nachweises einzugehen, werden diese Parameter nur angegeben und kurz erläutert. Die Grundlage des Vorschlages ist ein Wöhlerlinien-Betriebsdauerlinien-System, das in Abb. 1 vereinfacht dargestellt ist.

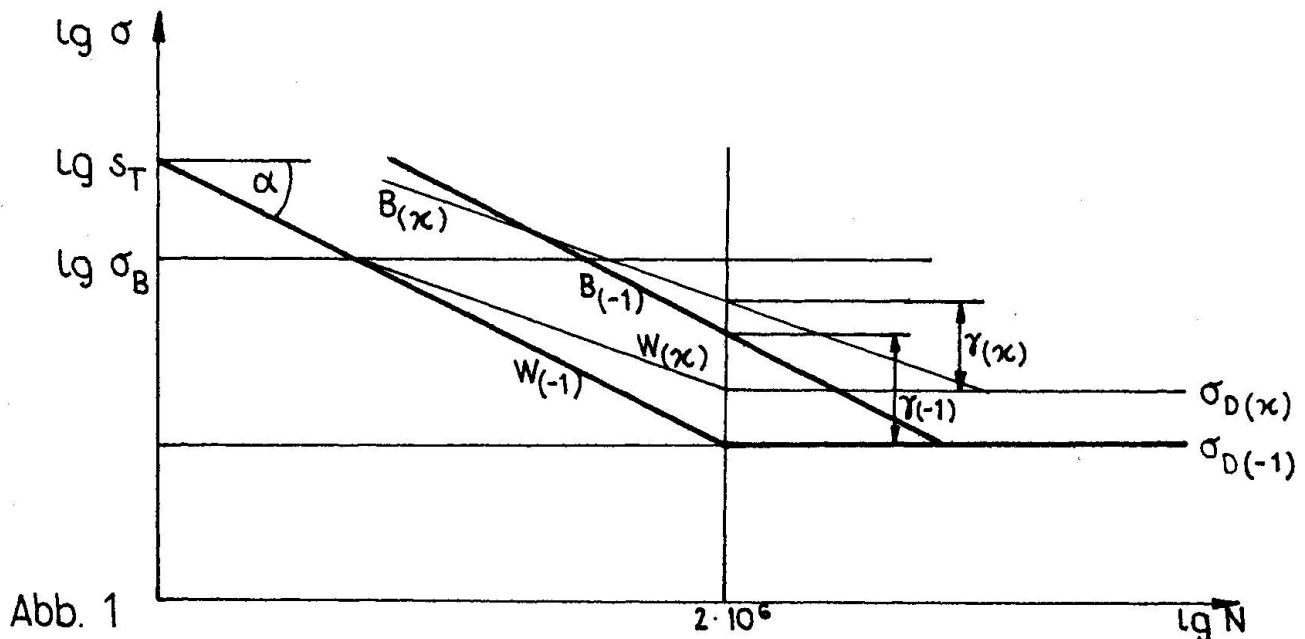


Abb. 1

- Der sogenannte Erhöhungsfaktor $\gamma(-1)$ für die Linien bei $\kappa = -1$ ergibt sich aus

$$\gamma(-1) = \frac{1}{v} \quad (1)$$

v kennzeichnet die Völligkeit des jeweiligen Beanspruchungskollektivs und errechnet sich aus

$$v = \left(\frac{\sum (\sigma_i / \sigma_1)^a \cdot n_i}{\sum n_i} \right)^{1/a} \quad (2)$$

mit $a = 1/\tan \alpha = 6$.

Der zweite wichtige Parameter ist die Gesamtlastspielzahl N , die während der Nutzungsdauer in die Tragglieder eingetragen wird. Im Ergebnis umfangreicher Untersuchungen kann er aus

$$N = 365 \cdot L \cdot Z \cdot A_m \cdot \bar{N} \quad (3)$$

errechnet werden.

$$\bar{N} = \frac{k_s \cdot f_N^-}{1}$$

Es bedeuten

L = Lebensdauer (Jahr)

Z = Belegung am Tag

A_m = mittlere Achszahl pro Zug

k_s = Konstante

f_N^- = Beiwert zur Berücksichtigung der Form der Einflußlinie und der Lage der Schnittstelle.

An einigen Beispielen werden die Auswirkungen erläutert.

- Die Auswirkung der Veränderung des Anteiles Schwerlastverkehr am Gesamtverkehr auf die Völligkeit v des Beanspruchungskollektivs zeigt Abb. 2:

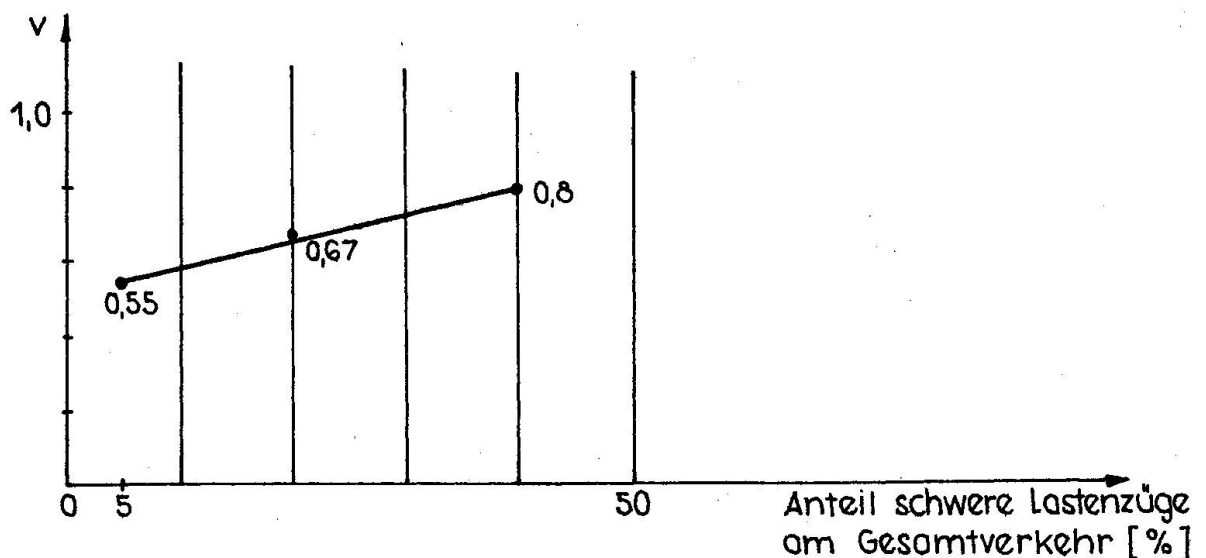


Abb. 2

Die Völligkeit erhöht sich z. B. von 0,55 bei einem Anteil von 5 % auf 0,80 bei 40 %igem Anteil am Gesamtverkehr. Diese Angaben gelten für das Mittenmoment eines Einfeldträgers mit der Stützweite 20 m. Es zeigt sich, daß nicht berücksichtigte Änderungen des Anteils der Schwerlastzüge in zukünftigen Jahren die rechnerischen Ergebnisse und ihre Auswirkung auf die Nutzungsdauer sehr beeinflussen können: Im ersten Fall ist der Erhöhungsfaktor $\gamma \approx 1,8$, im zweiten Fall $\gamma \approx 1,2$.

- Die zufällige Reihung der Fahrzeuge im Zug übt nur einen geringen, vernachlässigbaren Einfluß auf Völligkeit und Lastspielzahl aus.
- Die 3 benutzten Bemessungsloks ergaben geringe Unterschiede, so daß sie auf eine reduziert werden konnten.
- Die unterschiedlichen Achsabstände verändern die Völligkeit des Gesamtkollektivs kaum. Im Einzelfall beeinflussen sie jedoch in Verbindung mit der Geometrie und dem statischen System der Konstruktion die Schnittkräfte, das "Spannungsverhältnis" α und die Lastspielzahlen.
- Durch die umfangreichen Untersuchungen mit vielen Variationen der Lastenzüge konnte eine deutliche Abhängigkeit der bezogenen Lastspielzahl N von der Stützweite l mit geringer Streuung festgestellt werden.
- Bei Stützweiten bis etwa 5 m vergrößern kleine Achsabstände die bezogene Lastspielzahl.
- Geschwindigkeit, Fliehkraft, Seitenstöße und Brems- bzw. Anfahrkräfte wirken sich auf das Ergebnis der vorgeschlagenen Form eines Betriebsfestigkeitsnachweises und in Verbindung mit den z. Zt. gültigen Vorschriften nur unbedeutend aus.

Die bisher aufgezeigten Wirkungen der Verkehrsbelastung bezogen sich vorwiegend auf den Betriebsfestigkeitsnachweis und damit unmittelbar auf die Nutzungsdauer. Spezielle Untersuchungen und langjährige Erfahrungen auch anderer Bahnverwaltungen und Autoren zeigten, daß die Nutzungsdauer durch Sprödbrechempfindlichkeit und die Funktionstüchtigkeit durch Schwinganfälligkeit spürbar beeinträchtigt werden können.

Schwingungen der Brückenkonstruktionen werden seitens der Verkehrslast vorwiegend durch die Achslasten und die Geschwindigkeit in Verbindung mit technischen Mängeln oder Eigenarten der Fahrzeuge und der Gleislage gefördert. Die Sprödbrechanfälligkeit besonders geschweißter Konstruktionen wird durch die Fahrgeschwindigkeit und durch stoßartige Lasteintragung meist infolge technischer Mängel an den Fahrzeugen und am Gleis erheblich beeinflußt. Während die stoßartige Lasteintragung offenbar kein typisches Problem der Entwicklung der Verkehrsbelastung ist, kommt auch in diesem Zusammenhang der richtigen Festlegung der zu erwartenden Höchstgeschwindigkeit große Bedeutung zu. Sie beeinflußt die Beanspruchungsgeschwindigkeit eines Bauteiles. Nach TGL 12 910 (Stahlgüteauswahl) wird der Grenzwert $5000 \text{ kp/cm}^2\text{s}$ für die Erhöhung des Faktors B der Gefahrenziffer von 1,0 auf 1,4 angegeben. Die Beanspruchungsgeschwindigkeiten wurden für vollwandige Träger unter Berücksichtigung der Gleise mit und ohne Schotterbett und der Werkstoffe St 38 und St 52 bei

voller Ausnutzung der zulässigen Spannungen durch Verkehrslast und die ständige Last für den Geschwindigkeitsbereich 100 bis 160 km/h als Funktion der Stützweite ermittelt. Der ausgewiesene Grenzwert von 5000 kp/cm^2 s ergibt sich unter den angegebenen Bedingungen für den Stützweitenbereich von etwa 10 bis 20 m. Bemerkenswert ist, daß Konstruktionen aus dem schweißtechnologisch ungünstigeren Stahl St 52 jeweils die größeren Beanspruchungsgeschwindigkeiten aufweisen. Für kleinere Stützweiten ergeben sich erheblich größere Werte: Z. B. für $l = 3 \text{ m}$ 20000 bis 50000 kp/cm^2 s. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Biegenormalspannung in der Mitte eines Trägers auf 2 Stützen. Das Ergebnis der Untersuchungen bestätigt die Bedeutung der Qualität prognostischer Festlegungen für die Fahrgeschwindigkeit, weil sie die Sprödbruchgefahr sehr erhöhen kann, wodurch die Nutzungsdauer verkürzt oder die Funktionsfähigkeit zeitweise beeinträchtigt wird.

F Mitte

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von einer Analyse des Einflusses der verschiedenen Elemente der Belastung wird festgestellt, dass die Festlegung zukünftiger Verkehrsbelastungen stählerner Eisenbahnbrücken sich nicht nur auf bestimmte "Lastannahmen" beschränken darf, sondern dass eine Reihe anderer Elemente der Verkehrsbelastung, speziell für den Betriebsfestigkeitsnachweis und bei der Verringerung der Sprödbruch- und der Schwinganfälligkeit, von grosser Bedeutung sind.

SUMMARY

Starting from an analysis of the influence of different load elements it is stated that the determination of future traffic loads on metal railway bridges shall not only be restricted to definite "load assumptions" but that a number of other traffic load elements, especially for the control of the service strength and the reduction of susceptibility to brittle fracture and vibration, are of great importance.

RESUME

L'analyse de l'influence des différentes caractéristiques de la charge appliquée permet de constater que, pour fixer les charges qui solliciteront à l'avenir les ponts-rails métalliques, on ne doit pas se limiter à des "hypothèses de charge" précises mais considérer de plus les autres caractéristiques des charges de service, en particulier pour le contrôle à la fatigue et la réduction de la sensibilité aux ruptures fragiles et aux vibrations.