

Richtlinie für dynamische Messungen an Eisenbahnbrücken

Christoph Handel

DI, arsenal research, Giefinggasse 2, 1210 Wien

ZUSAMMENFASSUNG: Es existiert derzeit kein nationales Regelwerk für dynamische Messungen an Brückentragwerken von Eisenbahnen. Durch die in Zukunft weiter ansteigenden Fahrgeschwindigkeiten und Achslasten ist neben den statischen Lasten die dynamische Beanspruchung einer Brücke (Resonanzerscheinungen, Beanspruchung, Sicherheit, Komfort) sowie die Veränderung des Tragwerkszustandes über die Zeit ein wesentliches Kriterium. Diese Verfahrensrichtlinie zur Durchführung dynamischer Messungen an Eisenbahnbrücken soll sicherstellen, dass verlässliche und vergleichbare Ergebnisse unabhängig von der verwendeten Messausrüstung erhalten werden.

1. EINLEITUNG

Steigende Fahrgeschwindigkeiten und hohe Achslasten auf den bestehenden Eisenbahnstrecken bedeuten eine immer größer werdende dynamische Belastung für Eisenbahnbauwerke. In den nationalen Regelungen wie der RVE 06.00.01 (2005) wird diesem Umstand Rechnung getragen, indem für Bauwerke mit einer Spannweite größer als 12 m eine dynamische Messung (Untersuchung) vorgeschrieben wird. Wie sind diese dynamischen Messungen durchzuführen und welche Parameter werden gemessen? Um in Österreich einen einheitlichen Standard zu definieren, wurde im Forschungsprojekt „ComTest“ (Commissioning Test) eine Richtlinie für dynamische Messungen an Eisenbahnbrücken erarbeitet.

Vorrangigstes Ziel des Projektes ist es, einen innovativen Ansatz zur Durchführung effizienter, genauer und damit für die Schieneninfrastrukturbetreiber sinnvollen dynamischen Messung von Eisenbahnbrücken zu entwickeln, mit dem die von den Eisenbahnverwaltungen geforderten Beurteilungsparameter (Verformungen, Eigenfrequenzen, Dämpfungen, Beschleunigungen, etc.) bestimmt werden können. Diese Parameter zur einheitlichen und nachhaltigen Beurteilung einer Brücke sollen zur Standardisierung in einer einheitlichen Verfahrensanweisung bzw. Richtlinie zusammengefasst werden, die alle Anforderungen seitens der Infrastrukturbetreiber abdeckt. Diese Richtlinie soll in Zukunft seitens der Infrastrukturbetreiber als Grundlage für weitere Messungen an Eisenbahnbrücken vorgegeben werden. Dadurch wird gewährleistet, dass bei Untersuchungen an Brücken einheitlich vorgegangen wird und vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Wesentliches Kriterium dabei ist es, die

Untersuchung der Brücke unter den realen Beanspruchungen, d.h. im Regelbetrieb zu ermöglichen.

Dazu ist eine möglichst große Anzahl von Brücken zu untersuchen und ein frei zugänglicher Datenbestand aufzubauen. Damit ist gewährleistet, dass die Erfahrung sowie die Anwendung dynamischer Untersuchungsmethoden weiter zunehmen und eine Verfahrensrichtlinie zur Durchführung dynamischer Untersuchungen erstellt werden kann. Nur durch die Abdeckung aller geforderten Messergebnisse der Bahnverwaltungen in Hinblick auf die Prüfung von Eisenbahnbrücken können aufwändige und damit kostspielige Untersuchungen ersetzt, die Genauigkeit verbessert und die Sicherheit sowie der Qualitätsstandard der Schieneninfrastruktur nachhaltig erhöht werden. Das vorgeschlagene Projekt soll auf den nationalen und internationalen Forschungsergebnissen, insbesondere der ERRI (European Rail Research Institute, 1999), aufbauen.

2. AUFGABENSTELLUNG UND GRUNDLAGEN

Im Projektteam wurden die Anwender (Zivilingenieure, Messtechniker) und der Infrastrukturbetreiber (ÖBB) sowie ein Forschungsunternehmen (arsenal research) vereint, um die Entwicklung der Richtlinie auf eine breite Basis zu legen und die Anwendung sicherzustellen.

Derzeit wird für jedes neu errichtete Tragwerk im nationalen Schienennetz vor der Inbetriebnahme eine statische Probelastung durchgeführt. Dazu werden üblicherweise Lokomotiven oder voll beladene Güterwaggons auf dem Tragwerk positioniert und die unter dieser Belastung auftretenden Verformungen gemessen. Diese Durchbiegung wird der Berechnung gegenübergestellt, wobei allfällige Abweichungen zu interpretieren sind. Liegt die gemessene Verformung innerhalb festgelegter Grenzwerte, so befindet sich das Tragwerk in einem plangemäßen Zustand und kann in Betrieb genommen werden. Die Problematik bei der Durchführung solcher Probelastungen besteht darin, dass die dabei ermittelten Werte keinen Bezug zur realen Beanspruchung einer Eisenbahnbrücke haben. Zusätzlich ist der Aufwand relativ groß, und es muss der Betrieb auf der Strecke für die Durchführung dieser Probelastung unterbrochen werden.

Durch die weiter ansteigenden Fahrgeschwindigkeiten und Achslasten in der Zukunft ist neben den statischen Lasten die dynamische Beanspruchung einer Brücke sowie die Veränderung des Tragwerkszustandes über die Zeit ein wesentliches Kriterium. Aus diesem Grund ist es erforderlich, einen innovativen Ansatz zur Durchführung effizienter, genauer, nachhaltiger und damit für die Schieneninfrastrukturbetreiber sinnvollen Gebrauchstests von Eisenbahnbrücken zu entwickeln. Grundlage dafür ist eine einheitliche Richtlinie für die Durchführung von dynamischen Messungen an Eisenbahnbrücken. Bei folgenden Aufgabenstellungen können dynamische Messungen notwendig werden:

- (1) Dynamische Beurteilung von Eisenbahnbrücken nach gültiger Rechtslage (Normen, Richtlinien, etc.)
- (2) Dynamische Nachrechnung bestehender Objekte (z. B. Änderung der Fahrgeschwindigkeit, neue Zugstypen).
- (3) Vergleichbarkeit der Ergebnisse gleicher, bzw. ähnlicher Tragwerke.
- (4) Dokumentation des Tragwerkszustandes über die Zeit.

Um einen einheitlichen Standard bei dynamischen Brückenmessungen festzulegen, wurde am Beginn des Projektes eine Vergleichsmessung an einer Brücke durchgeführt, wo alle Partner beteiligt waren. Dabei wurden unterschiedliche Vorgangsweisen bei der Messung und Auswertung festgestellt, die im Zuge dieses Projektes vereinheitlicht werden sollen. In Abbildung 1 sind zum Teil sehr gute Übereinstimmungen aber zum Teil auch aufgrund unterschiedlicher Vorgangsweisen bei der Messung oder Auswertung größere Abweichungen zwischen den Partnern erkennbar.

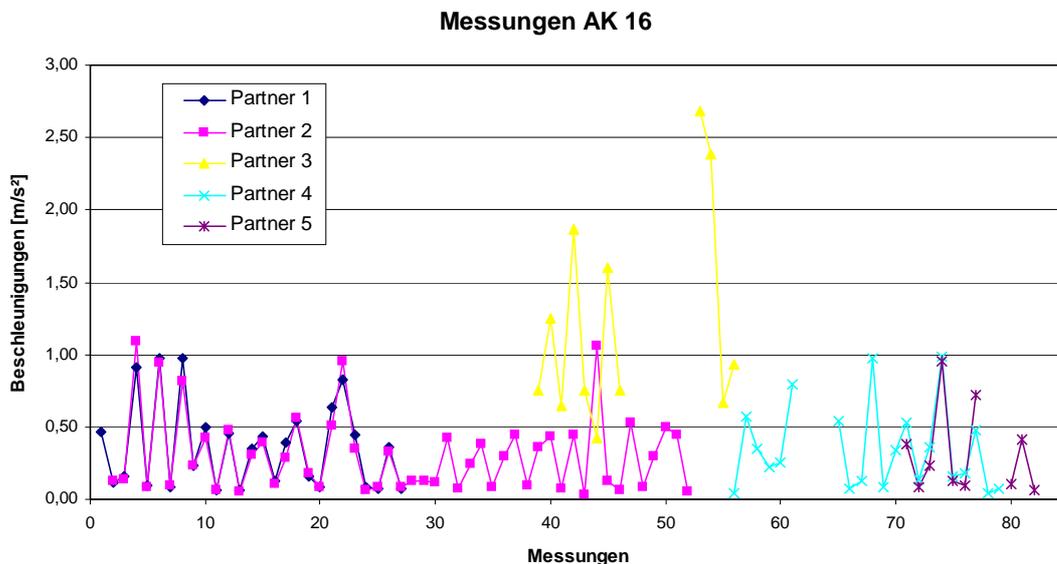


Abbildung 1: Beschleunigungen des Brückentragwerks bei der Vergleichsmessung

Sehr intensive Diskussionen wurden in letzter Zeit über den Grenzwert der maximalen Brückendeckbeschleunigung von $3,5 \text{ m/s}^2$ bei Schotterbett und $5,0 \text{ m/s}^2$ bei fester Fahrbahn (EN 1990, A2.4.4.2, 2003) geführt. In dem Beitrag „Dynamic Behaviour of Ballast on Railway Bridges“ (Zacher, Baeßler, Porto 2005) wurden neueste Erkenntnisse diesbezüglich vorgestellt. Es sollen diese Grenzwerte für maximal 10 aufeinander folgende Schwingungszyklen auf $0,55 \times g$ für Schotterbett und $0,75 \times g$ für feste Fahrbahnen angehoben werden. Normwerte der maximalen Beschleunigungen der Bemessung können national abgeändert werden, und in der Richtlinie ONR 24008 (2006) „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken“ wurden höhere Grenzwerte für Bestandsbrücken eingeführt.

3. RICHTLINIE

Diese Richtlinie dient als Grundlage für dynamische Messungen jeglicher Art an Eisenbahnbrücken. Als Eisenbahnbrücken gelten im Sinne dieser Richtlinie alle Tragwerke, die für Verkehrslasten von Eisenbahnen konstruiert wurden. Es gibt weder Einschränkungen in der Spannweite der Brücken (0 bis $\infty \text{ m}$), noch in der Konstruktionsart (Rahmen, Einfeld- Zweifeldträger,...) und -weise (Stahl, Beton, Stahlbeton, Verbundbrücken). Der Anwendungsbereich erstreckt sich von Beschleunigungsmessungen bei Zugüberfahrten, über ambiente Messungen bis zu Impulsanregungen.

Die Zuverlässigkeit der Messdaten, die sehr häufig für die Beurteilung von Brücken oder als Input für Berechnungen verwendet werden, soll durch diese Richtlinie verbessert werden. Alternativ oder ergänzend zu Beschleunigungsmessungen können auch Durchbiegungsmessungen durchgeführt werden. Diese liefern für den Vergleich mit Berechnungen zusätzliche Informationen, sind aber mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden. Die Streuungen der gemessenen Verformungen sind im Vergleich zu den gemessenen Beschleunigungen geringer, für die Ermittlung der Eigenfrequenzen liefern beide Messmethoden in Bezug auf die Genauigkeit vergleichbare Ergebnisse. Auf Verformungsmessungen wurde in diesem Projekt nicht eingegangen.

Die Messung kann in Zukunft die Inbetriebnahme von neuen Brückenbauwerken erleichtern und die statische Belastungsprobe ergänzen. Zusätzlich sollen die ermittelten Daten auch als Grundlage für Messungen zu einem späteren Zeitpunkt im Lebenszyklus von Brücken herangezogen werden können, da mit der Erstmessung Messdaten vom ursprünglichen Zustand des Tragwerkes als Referenzwerte vorliegen.

Die Richtlinie erarbeitet zuerst eine klare Definition der in der Messtechnik verwendeten Begriffe. Im zweiten Kapitel „Messtechnik und Messlayout“ werden die Anforderungen an die Messkette, die Positionierung der Sensoren und die Wahl der Parameter für die Messung festgelegt. Für gerade Einfeldträger wird ein Messlayout vorgegeben. Für komplexere Tragwerke werden Mindestanforderungen an die Positionierung der Sensoren vorgeschrieben. Als zentrales Kapitel der Richtlinie kommt der Datenverarbeitung und -auswertung eine große Bedeutung zu.

3.1 MESSTECHNIK UND MESSLAYOUT

Es können prinzipiell Messgeräte und/oder Messketten für die Bestimmung der Messgrößen Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ oder Schwingbeschleunigung $a(t)$ verwendet werden. Für die Bestimmung der maximalen Beschleunigung ist es zielführend Beschleunigungsaufnehmer zu verwenden, da bei der Verwendung von Geschwindigkeitsaufnehmern eine zusätzliche Fehlerquelle durch die Differentiation eingeführt wird.

Von großer Bedeutung bei Sensoren sind neben der Abtastrate analoge Anti-Aliasing Filter, welche dem A/D-Wandler vorgeschaltet sein sollten. Dies sind im Wesentlichen Tiefpassfilter, welche verhindern sollen, dass Frequenzen oberhalb der Nyquist-Frequenz in den A/D Wandler gelangen. Anti-Aliasing Filter werden meist in den Signalverstärker und/oder direkt in den A/D Wandler eingebaut. Bei der Wahl der Komponenten der Messkette ist auf das Vorhandensein des Anti-Aliasing Filters zu achten.

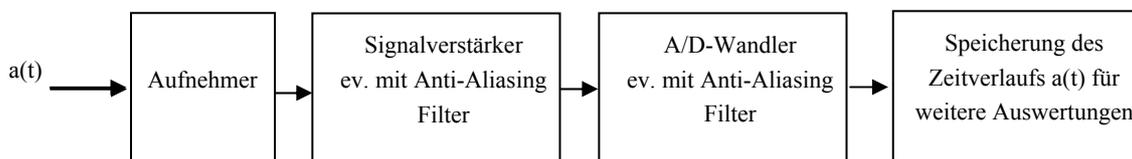


Abbildung 2: Beispiel einer Messkette

Das gemessene Signal muss unbedingt gespeichert werden, bevor weitere Analysen durchgeführt oder Filter verwendet werden. Bei der Wahl der Aufnehmer ist außerdem zu beachten, dass der Sensor über einen Arbeitsfrequenzbereich verfügt, der die doppelten Werte der maximal zu berücksichtigenden Frequenzen jedoch zumindest

200 Hz abdeckt. Zusätzlich muss die Aufnehmerempfindlichkeit für die jeweilige Messart (ambient oder Zugsanregung) geeignet sein, um Übersteuerungen bzw. Werte unter der Auflösungsschwelle zu vermeiden. Die dynamischen Messungen von Eisenbahnbrücken können bei folgenden Arten der Schwingungsanregung durchgeführt werden:

- Ambiente Anregung, z.B.: Wind, Mikroseismik, Verkehr in unmittelbarer Umgebung
- Zugsüberfahrten und Ausschwingen nach erfolgter Überfahrt
- Impulsanregungen (Springen, Hammerschlag, Reaktionsmassenerreger)

Die Anregungsmethodik mittels Springen oder Hammerschlag liefert sehr gute Werte für die Eigenfrequenzen des Tragwerks. Wichtig ist hier zu beachten, dass zwischen den einzelnen Impulsen ein ausreichend langer zeitlicher Abstand eingehalten wird.

In Abhängigkeit vom Konstruktionstyp (Plattenbrücke, Hohlkasten, Plattenbalken, Walzträger-Im-Beton, aufgelöste Stahlkonstruktion, etc.) sowie vom Baustoff (Stahl, Stahlbeton, Spannbeton, Verbund) können die Beschleunigungssensoren an unterschiedlichen Stellen angeordnet werden. Es ist jedoch auf lokale Schwingungseffekte zu achten, die irrelevante Eigenfrequenzen liefern und zu falschen Interpretation führen (z.B. Eigendynamik von Randbalken). Grundsätzlich ist anzustreben, die Sensoren direkt an das Tragwerk (z.B. Untersicht einer Plattenbrücke, Bodenplatte eines Hohlkastens) bzw. an die tragenden Elemente (z.B. Hauptträger einer Stahlbrücke mit offener Fahrbahn) zu befestigen.

Ein Beispiel für ein Messlayout für ein Einfeldtragwerk ist in Abbildung 3 gegeben. Es ist darauf zu achten, dass die Sensoren in Gleisachse und nicht in Brückenmitte montiert werden. Der Messpunkt 2 ist für die Erfassung der Torsionsschwingungen am Rande des Tragwerkes zu situieren.

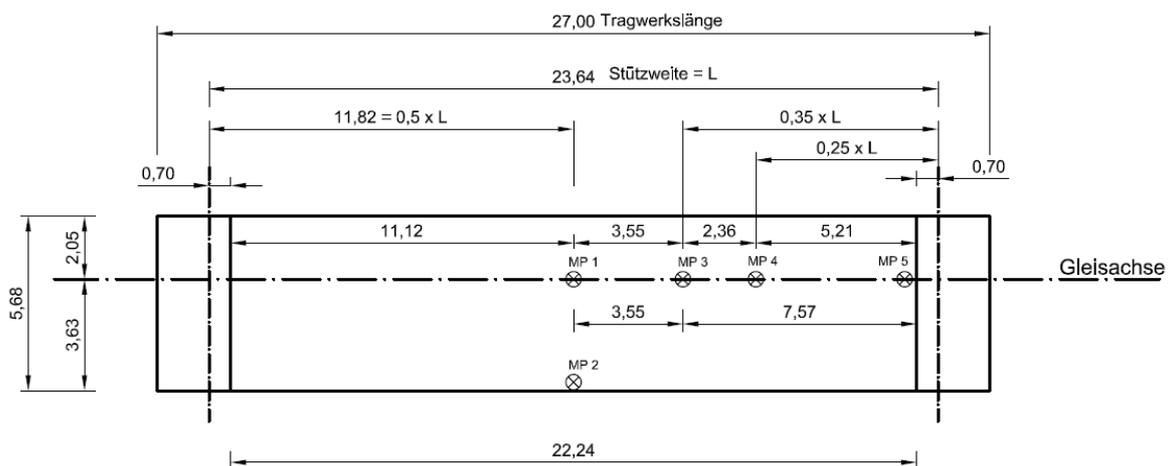


Abbildung 3: Aufnehmerpositionen zur Identifikation der gesuchten Messwerte

Bei identen oder sehr ähnlichen Bauwerken kann mit Hilfe eines (oder zwei) weiteren Aufnehmers an den Nachbartragwerken das Auslangen gefunden werden. Es ist sehr vorteilhaft an allen Nachbartragwerken des zu messenden Tragwerkes Sensoren anzubringen, um die Ankoppelung besser beurteilen und untersuchen zu können. Die

maximalen Einflusswerte treten bei Einfeldtragwerken in Feldmitte auf. Zur Ermittlung der Eigenfrequenzen bis zur 4. Harmonischen ist ein zweiter Punkt bei ca. 0,3 bis 0,4 x L am zweckmäßigsten.

Bei Zwei- oder Dreifeldtragwerken kann das Messlayout des Einfeldträgers nicht mehr angewandt werden. Grundsätzlich gilt, dass die Messaufnehmer immer an den Stellen der maximalen Einflusswerte der zu erwartenden Eigenformen positioniert werden sollen. Bei komplexeren Tragwerken kann es notwendig sein, im Vorfeld eine Berechnung mit den maßgebenden Eigenformen des Tragwerks durchzuführen. Es müssen die erste Biegeeigenschwingung und die erste Torsionseigenschwingung mit den gewählten Sensorpositionen identifiziert werden können.

3.2 AUSWERTUNG UND SIGNALANALYSE

Großes Augenmerk wurde auf die Auswertung der gemessenen Daten gelegt. Für die Bestimmung der maximalen Beschleunigung bei Zugüberfahrten wurde ein Tiefpassfilter bei 100 Hz mit Butterworth Charakteristik und einer Flankensteilheit achter Ordnung festgelegt. Bei der Identifikation der Eigenfrequenzen ist darauf zu achten, dass bei Zugüberfahrten eine erzwungene Schwingung mit zusätzlicher Masse vorhanden ist, die aufgrund der Zusatzmasse niedrigere Eigenfrequenzen ergibt. Auch beim Ausschwingvorgang nach Zugüberfahrt sind aufgrund des Überganges der erzwungenen Schwingung (durch die Überfahrt) zur freien Schwingung die Ergebnisse mit Unsicherheiten behaftet. Idealerweise ist die Eigenfrequenz aus ausreichend langen, ambienten Messungen zu bestimmen. Zu Vergleichszwecken kann die Eigenfrequenz auch aus der Impulsanregung ermittelt werden.

Besonders bei der Bestimmung der Dämpfung gab es intensive Diskussionen und einen starken Erfahrungsaustausch zwischen den Projektpartnern. Eine Identifizierung des Dämpfungskoeffizienten darf nur mit dem frei schwingenden Signal ausgeführt werden. Das bedeutet, dass der Zug die Brücke schon wieder verlassen haben muss. Bei vielen Brücken bzw. Zugüberfahrten stellt sich kein verwertbares Ausschwingen ein und die Dämpfung kann nicht ermittelt werden. In manchen Fällen kann es besser sein keine Dämpfungszahlen anzugeben bevor mit falschen Werten gearbeitet wird. Analog dazu kann dann die Bestimmung auch nach dem Ausschwingen durch Impulsanregung erfolgen. Anregungen mit Hammerschlag oder bei kleineren Brücken auch durch Hüpfen von Personen haben sehr gute Ergebnisse geliefert.

Für die Ermittlung der modalen Dämpfungszahl einigte man sich auf die folgende Vorgangsweise. Mit Anwendung der Gleichung 1 und dem Ablesen der Amplituden x_n und x_{n+m} aus dem Signal (siehe Abbildung 4) in Abhängigkeit der gewählten Periodenzahl m , wobei für repräsentative Aussagen mindestens 5 eindeutig auswertbare Ausschwingvorgänge notwendig sind, kann die Dämpfungszahl ausgerechnet werden. Die Ermittlung der Dämpfung aus dem Bandbreitenansatz mittels Frequenzspektrum sollte nur in Ausnahmefällen erfolgen, und die so errechneten Werte können nur als grobe Abschätzung dienen.

$$\zeta = \frac{1}{2\pi \cdot m} \cdot \ln\left(\frac{x_n}{x_{n+m}}\right)$$

Gleichung 1: Ermittlung der modalen Dämpfungszahl

In Abbildung 4 ist ein Ausschwingvorgang eines WIB-Tragwerks nach Impulsanregung durch Hammerschlag dargestellt. Dieses Tragwerk besitzt eine sehr hohe Dämpfung und die Schwingung klingt sehr schnell ab.

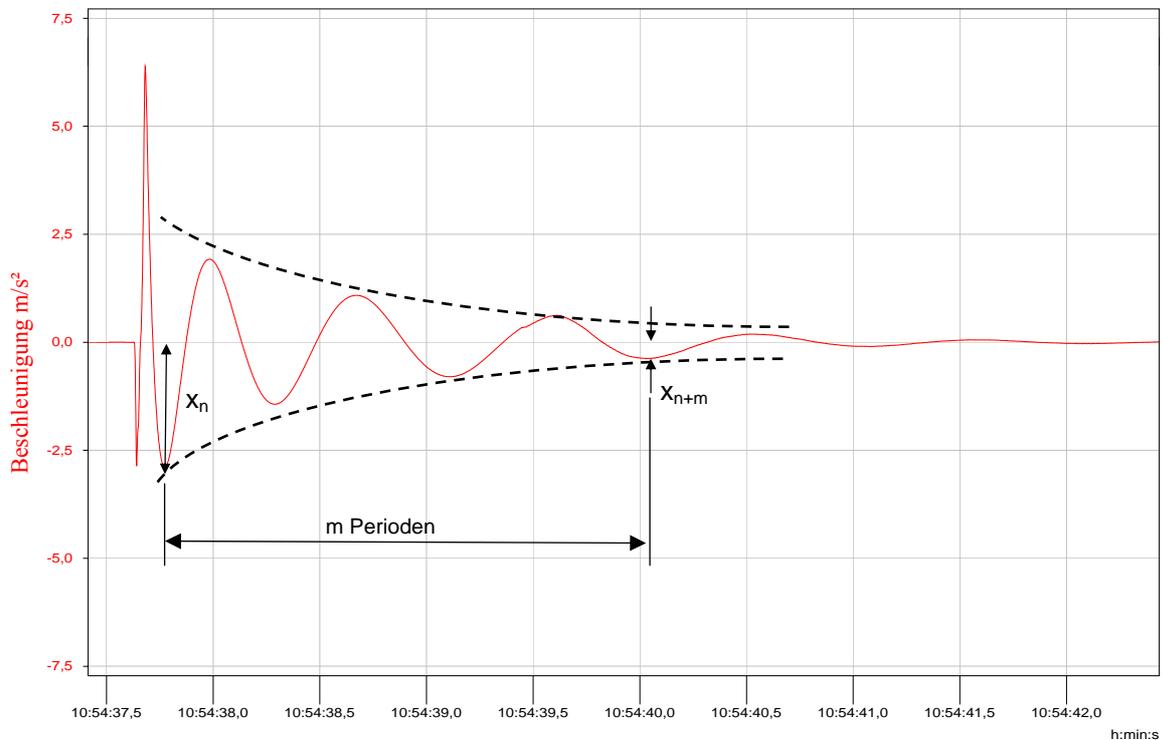


Abbildung 4: Bestimmung der Dämpfung aus dem Ausschwingvorgang

Eine Plausibilitätsüberprüfung der Messdaten und der ermittelten Ergebnisse ist unerlässlich. Jede Brückenmessung ist anders, und durch den Einfluss der Umgebungsbedingungen können die Ergebnisse verfälscht werden. Besonders bei Minusgraden ist bei statisch unbestimmt gelagerten, kleineren Tragwerken (z.B. Rahmenbauwerke) ein stark verändertes Tragverhalten zu erwarten und die Interpretation der Messergebnisse ist dementsprechend vorsichtig vorzunehmen. Die Lagerbedingungen der Brückentragwerke sind bei Messungen genau zu untersuchen und zu dokumentieren. Bei der Beurteilung und Gegenüberstellung mit Berechnungen muss die ermittelte, maximale Beschleunigung vorsichtig interpretiert werden, da diese immer eine zufällige Momentaufnahme von speziellen Zugüberfahrten darstellt. Der berechnete, maximale Resonanzfall wird bei Messungen eigentlich nie erreicht. Die maximalen Werte helfen bei einer ersten Einschätzung des Tragwerkes, sind aber für die Beurteilung nicht relevant. Besonderheiten wie schlechtes Wagenmaterial (z.B. Flachstellen an Rädern) oder Unregelmäßigkeiten im Schotterbett verändern die Ergebnisse maßgeblich.

Häufig werden bei Messsignalen Einstreuungen durch Wechselstromquellen beobachtet. Besonders im Nahbereich der Österreichischen Bundesbahnen werden Messergebnisse durch die Elektrifizierung mit Einphasenwechselstrom mit $16\frac{2}{3}$ Hz verfälscht. Wenn die zu identifizierenden Eigenfrequenzen des Tragwerks nahebei liegen, kann es schwierig werden vernünftige Auswertungen zu erreichen. Auch andere Fehlerquellen wie elektrotechnisch verursachte Peaks im Zeitsignal oder durch Kabelschwingungen verursachte Frequenzänderungen bei Sensoren mit

Ladungsausgang können die Ergebnisse negativ beeinflussen. Daher ist es sehr wichtig, bei der Auswertung die Signale dahingehen genau zu überprüfen.

3.3 ANWENDUNG DER RICHTLINIE

In der RVE 06.00.01 „Technische Richtlinie für Eisenbahnbrücken“ sind für Eisenbahntragwerke mit einer Stützweite von mehr als 12 m statische oder dynamische Messungen durchzuführen. Wenn eine dynamische Berechnung nach EN 1991-2 (2004) erforderlich war, sind in jedem Fall unabhängig von der Stützweite dynamische Messungen notwendig. Somit werden bei vielen Brückentragwerken Untersuchungen notwendig werden. Die folgenden Daten sollen dabei ermittelt werden:

- n_0 erste Biegeeigenfrequenz unter ständigen Lasten (EN 1991-2, 6.4.4)
- ξ Dämpfungswert des Tragwerks zufolge freien Ausschwingens (nach erfolgter Zugsüberfahrt (EN 1991-2, 6.4.6.3.1))
- γ_{bt} bzw. γ_{df} maximale vertikale Beschleunigung des Überbaues (bei Einfeldtragwerken in Brückenmitte) zufolge jeder Zugfahrt (EN 1990, prA2.4.4.2.1)
- n_{zk} erste Biegeeigenfrequenz zufolge Zugfahrt mit Zug k

Das Ziel dieser dynamischen Untersuchung ist es, eine allgemeine Information für das dynamische Verhalten der Struktur unter realen Einwirkungen zu erhalten. Zusätzlich können einige Daten für eine Verbesserung und Anpassung der Berechnung oder des FE-Modells verwendet werden. Dabei muss aber immer bedacht werden, dass die gemessenen Werte rein zufällige Zugsüberfahrten sind und dass die Messung immer sehr viele natürliche Imperfektionen (Wagenmaterial) beinhaltet.

4. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die Entwicklung eines gesamteuropäischen Verkehrsnetzes (TEN – Trans-European Networks) beeinflusst auch die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Brücken. Dabei spielen insbesondere die Erhöhung der Verkehrslasten sowie der Fahrgeschwindigkeiten eine große Rolle. Das Ziel der Schieneninfrastrukturbetreiber ist es, eine interoperable (durchgängige), mit hohen Geschwindigkeiten befahrbare Strecke zu errichten. Dafür ist auch die Entwicklung von geeigneten Beurteilungsverfahren wie einem dynamischen Gebrauchstest notwendig.

Mit der Erstellung dieser Richtlinie wurde ein wichtiger Beitrag geleistet, dynamische Messungen an Brücken zu verbessern. Nun sind Ergebnisse aus Brückenmessungen viel besser miteinander vergleichbar und nachvollziehbar, da bei Anwendung dieser Richtlinie ein sehr hohes Maß an gleich bleibender Qualität erreicht wird. Ein wichtiger Aspekt ist, dass Messungen bedeutende Eingangsparameter für dynamische Rechnungen liefern, und damit das Tragwerksverhalten aus Messung und Rechnung im bestimmten Ausmaß verglichen werden kann.

Die erarbeitete Richtlinie muss nun entsprechend verankert und verbreitet werden. Inwieweit die Inbetriebnahme von Eisenbahnbrücken mittels dynamischer Messungen zur Anwendung kommt, wird die Zukunft zeigen. Durch dieses Projekt und die Richtlinie wurde die Möglichkeit geschaffen eine nachhaltige Beurteilung der Infrastruktur einzuführen. Die gemessenen Daten können für folgende Möglichkeiten verwendet werden:

- Wirtschaftliches Bauwerksmanagement, basierend auf tatsächlichen Zustandsparametern
- Ermittlung des realen dynamischen Beiwertes von bestimmten Zugsgattungen
- Berechnung von Eisenbahnbrücken (Eigenfrequenzen, Dämpfung)
- Zustandsüberwachung von Eisenbahnbrücken durch periodische Messungen
- Zulassung von neuen Zügen bzw. Zugstypen auf Bestandstragwerken

DANKSAGUNGEN

An dieser Stelle muss allen an diesem Projekt Beteiligten der größte Dank ausgesprochen werden. Durch ihr Know-how, Wissen und die intensiven Diskussionen und Gespräche war die Erstellung der Richtlinie für dynamische Messungen an Eisenbahnbrücken möglich geworden. Unmittelbar am Forschungsprojekt „ComTest“ waren die folgenden Partner maßgeblich beteiligt:

- Bernard Ingenieure ZT-GesmbH
- VCE Holding GesmbH
- iC Consulente ZT-GesmbH
- TDV Technische Datenverarbeitung GesmbH

Weiters hat die ÖBB Infrastruktur Bau AG dieses Projekt massiv unterstützt, und durch die Förderung der FFG (österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) war die Realisierung dieses Projektes erst durchführbar geworden.

SCHRIFTENVERZEICHNIS

- EN 1990 – prAnnex A2, 2003. Eurocode: Basis of structural design, Annex A2: Application for bridges
- ERRI Project D 214, 1999. Eisenbahnbrücken für Geschwindigkeiten > 200 km/h
- ÖNORM EN 1991-2, 2004. Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken
- ONR 24008, 2006. Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken.
- RVE 06.00.01, 2005. Technische Richtlinie für Eisenbahnbrücken, FSV.
- UIC Leaflet, 2007. Guidelines for Railway Bridges, Dynamic Measurements and Calculations, Bridcap project Team G776x-2006.
- Zacher, M., Baeßler, M., 2005. Dynamics Behaviour of Ballast on Railway Bridges, Dynamics of High-Speed Railway Bridges, Porto 2005, p. 125 – 142.