

„RL Dynamik“ – Richtlinie für die dynamische Berechnung von Eisenbahnbrücken

Christian Stadler

*Kirsch – Muchitsch & Partner ZT-GmbH
Kapellenstraße 13, 4040 Linz, Österreich*

ZUSAMMENFASSUNG: Die „Richtlinie für die dynamische Berechnung von Eisenbahnbrücken“ soll künftig jene Planer unterstützen, die entsprechende dynamische Untersuchungen bestehender und neuer Tragwerke unter der Überfahrt schneller Betriebszüge durchführen müssen. Sie dient zudem einer Vereinheitlichung der Randbedingungen und führt somit zu vergleichbaren Ergebnissen im Sinne einer Datenbasis für weitere Beurteilungen.

1. EINLEITUNG

Im Zuge von zahlreichen Untersuchungen von Eisenbahnbrücken im österreichischen Schienennetz wurden die EN 1991-2 bzw. vor deren Veröffentlichung die entsprechenden Entwürfe als Grundlage herangezogen.

Dabei konnten wertvolle Erfahrungen gewonnen werden, die wie folgt zu charakterisieren sind:

- Die komplexen Schwingungsvorgänge als Interaktion zwischen Fahrzeug und Bauwerk müssen als relevantes Planungskriterium in Betracht gezogen werden.
- Die hierzu notwendigen Berechnungen erfordern spezielle Kenntnisse und einschlägige Erfahrung.
- Die Formulierungen im Eurocode sind teilweise schwer verständlich und lückenhaft. Für einzelne im EN 1991-2 enthaltene Vereinfachungen konnte nachgewiesen werden, dass diese nicht zwingend auf der sicheren Seite liegen.
- Der Aufwand für die dynamischen Berechnungen ist im Vergleich mit dem allgemeinen Planungsumfang sehr beträchtlich, speziell bei kleineren, häufig wiederkehrenden Bauwerken ergeben sich unvertretbar hohe Kosten.

Es wurde daher im Jahr 2004 im Rahmen des Forschungsschwerpunktes ISB2 (Innovatives System Bahn), ein von der FFG bzw. dem BMVIT gefördertes Rahmenprogramm, das vorliegende Projekt eingereicht und als förderungswürdig erkannt. Mit den verantwortlichen Stellen der Österreichischen Bundesbahnen, die als einer der Hauptnutznießer einzustufen sind, konnte zudem eine ergänzende Finanzierung dieses Projektes vereinbart werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „RL Dynamik“ sollte eine technisch und wissenschaftlich abgesicherte Richtlinie für die dynamische Berechnung von Eisenbahnbrücken erstellt werden. Damit sollten zunächst die verschiedenen

Bestimmungen des Eurocodes durch allgemein verständliche Erläuterungen praxisgerecht aufbereitet werden. Zusätzlich sollte durch die Entwicklung einer Regelplanung für einzelne Bauwerkstypen der Aufwand für die dynamische Untersuchung minimiert werden.

Die Richtlinie sollte darüber hinaus durch einen Leitfaden für die Beurteilung bestehender Bauwerke im Falle einer Umplanung für höhere Streckengeschwindigkeiten ergänzt werden.

Am Projekt beteiligt waren nachstehende Unternehmen bzw. Personen:

- Kirsch – Muchitsch & Partner ZT-GmbH, Linz als Projektleiter,
- TDV Technische Datenverarbeitung Dorian Janjic & Partner, Graz als Projektpartner,
- Dr. Heinz Pircher, Graz als Konsulent,
- Arsenal Research, Wien als Projektleiter des Partnerprojektes „ComTest“.

Der Abschluss des Projektes ist mittlerweile erfolgt, über eine Übernahme in bestehende Regelwerke (z.B. RVE) oder die Herausgabe als ON-Regel wird voraussichtlich in Kürze von den betreffenden Gremien entschieden.

Die wesentlichen Inhalte können den nachstehenden Kapiteln entnommen werden.

2. NEUE BERECHNUNGSVERFAHREN

2.1 MODALE ANALYSE MIT ANALYTISCHER ZEITINTEGRATION

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein neues Berechnungsverfahren entwickelt, welches auf den Prinzipien der Modalen Analyse basiert.

Vorausgesetzt wird dabei, dass die Eigenschwingformen, die jeweils zugehörigen Eigenfrequenzen und die entsprechenden generalisierten Massen bekannt sind, eine Vorgabe, die sich mittels handelsüblicher FEM-Software leicht erfüllen lässt.

Beim angewendeten Prinzip der Modalen Analyse wird jeder Eigenfrequenz ein stellvertretender Einmasseschwinger („EMS“) zugeordnet (siehe Abb.1).

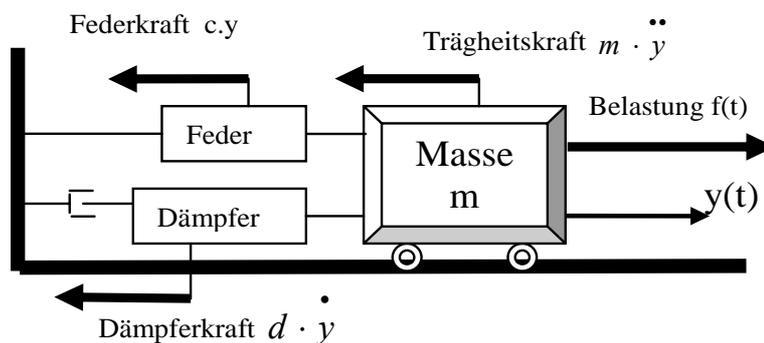


Abbildung 1: Der stellvertretende Einmasseschwinger

Mit den jeweiligen Kennwerten des Einmassenschwingers (m_i für die „Generalisierte Masse“, d_i für die Dämpfungskonstante und c_i für die Federkonstante) des EMS kann nun die Differentialgleichung (Gl. 1) formuliert werden:

$$m_i \cdot \ddot{q}_i(t) + d_i \cdot \dot{q}_i(t) + c_i \cdot q_i(t) + f_i(t) = 0 \quad \text{Gl. 1}$$

Die zeitabhängige Belastung $f(t)$ am Einmassenschwinger wird mit $\{\varphi_i\}$ als betrachteten Eigenvektor und $\{F\}_{(t)}$ für den zeitabhängigen Belastungsvektor berechnet:

$$f(t) = \{\varphi_i\}^T \cdot \{F\}_{(t)} \quad \text{Gl. 2}$$

Die Lösung der gewöhnlichen Differentialgleichung (Gl. 1) ergibt den zeitlichen Verlauf der Auslenkung $q(t)$ und der beiden Ableitungen. Der jeweilige Wert von $q(t)$ gibt an, mit welchem Faktor der zugehörige Eigenvektor zu multiplizieren ist, um dessen Beitrag zum aktuellen Gesamtzustand des Systems zu bestimmen.

Wenn diese Vorgangsweise auf alle Eigenfrequenzen eines Systems bzw. alle Einmassenschwinger angewendet wird und die Beiträge aller EMS aufsummiert werden, entsteht eine vollständige Lösung des gestellten Problems.

In der vorliegenden Problemstellung besteht die Belastung durch den fahrenden Zug aus einer Serie von Achslasten (nachfolgende Ausführung für einzelne Achslast), das Gesamtergebnis wird durch Superposition der Beiträge der einzelnen Achslasten gebildet. Es ist dabei zu unterscheiden in eine Phase 1, während der sich die Last auf dem Tragwerk befindet, und Phase 2, die das freie Ausschwingen unter den gegebenen Randbedingungen behandelt.

Wenn die Eigenschwingform als Summe von mehreren Sinusfunktionen dargestellt ist, ergibt sich für eine Achslast P , die sich mit der Geschwindigkeit v über die Brücke bewegt, am Einmassenschwinger die Belastungsfunktion (Gl. 2) wie folgt:

$$f(t) = \sum_i [P \cdot A_i \cdot \sin(\bar{\omega}_i \cdot t)], i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Gl. 3}$$

A_i stellt dabei den Koeffizienten der Sinuskomponente für die Lastfunktion dar und $\bar{\omega}_i$ kann als Erregerfrequenz verstanden werden, die allerdings nur während der Überfahrt der Achslast über die Brücke wirksam wird. Die Problemstellung entspricht somit der einer Serie von Impulsbelastungen mit jeweils sinusförmigem Zeitverlauf der Belastung. Mit dem Belastungsglied nach (Gl. 3) kann die Differentialgleichung (Gl. 1) für jede einzelne Sinuskomponente getrennt formuliert werden:

$$m_i \cdot \ddot{q}_i(t) + d_i \cdot \dot{q}_i(t) + c_i \cdot q_i(t) + P \cdot A_i \cdot \sin(\bar{\omega}_i \cdot t) = 0 \quad \text{Gl. 4}$$

Die Gesamtlösung für Phase 1 setzt sich aus der partikulären (erster Teil des Terms) und der homogenen Lösung (zweiter Teil) zusammen:

$$q(t) = \left(G_1 \cdot \cos \bar{\omega} \cdot t + G_2 \cdot \sin \bar{\omega} \cdot t \right) + \left(A \cdot \cos \omega^* \cdot t + B \cdot \sin \omega^* \cdot t \right) \cdot e^{-\zeta \cdot \omega \cdot t} \quad \text{Gl. 5}$$

$$G_1 = \frac{f_0}{c} \cdot \left[\frac{-2\zeta\beta}{(1-\beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2} \right] \quad \text{Gl. 6}$$

$$G_2 = \frac{f_0}{c} \cdot \left[\frac{1 - \beta^2}{(1 - \beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2} \right] \quad \text{Gl. 7}$$

$$A = -G_1 \quad \text{Gl. 8}$$

$$B = \frac{G_1 \cdot (-\zeta \cdot \omega) - \bar{\omega} \cdot G_2}{\omega^*} \quad \text{Gl. 9}$$

Mit β als Verhältnis von Erregerfrequenz $\bar{\omega}_i$ zu ungedämpfter Eigenfrequenz ω_i des betrachteten Einmassenschwingers bzw. der Lastamplitude f_0 als Produkt aus der Achslast P und dem Koeffizienten der Sinuskomponente A_i .

Durch Einsetzen der Zeit t am Übergang von Phase 1 nach Phase 2 erhält man die Ausgangsbedingungen für die Lösung der Differentialgleichung für Phase 2, wobei diese nur mehr den homogenen Anteil (zweiter Teil des Terms aus Gl. 4) enthält.

Lastfunktion und Lösung der Differentialgleichung für eine typische Konstellation sind in Abb. 2 dargestellt. Man kann eindeutig erkennen, dass die partikuläre Lösung vorwiegend von der Erregerfrequenz (Lastfunktion) bestimmt wird und in der Phase 2 ein reiner Ausschwingvorgang in der Eigenfrequenz stattfindet, der hinsichtlich der Intensität von den Randbedingungen am Übergang von Phase 1 auf Phase 2 bestimmt wird.

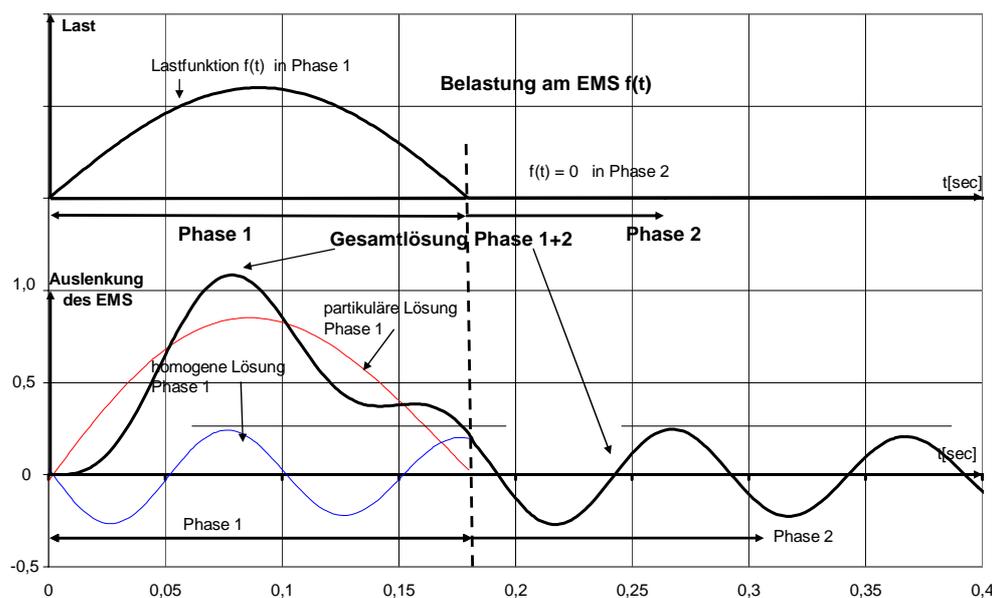


Abbildung 2: Lastfunktion und Lösung der Gleichung 1 für den EMS

Dieses Procedere ist für alle Einmassenschwinger durchzuführen, deren Eigenfrequenzen ω_i als relevant hinsichtlich der Anregung aus der überfahrenden Last anzusehen sind. Es sind dabei sämtliche Erregerfrequenzen $\bar{\omega}_i$ zu berücksichtigen, die bei der Diskretisierung der Lastfunktion Verwendung gefunden haben.

Weiters hat dies für alle Achslasten des Betriebzuges zu erfolgen. Die Gesamtlösung kann über Superposition der einzelnen Beiträge gewonnen werden, wobei der zeitliche Versatz der einzelnen Lastereignisse entsprechend der Überfahrtsgeschwindigkeit Berücksichtigung finden muss.

2.2 OPTIMIERTE „TIME-HISTORY“

Vom Projektpartner TDV wurde darüber hinaus eine Optimierung des bewährten Verfahrens der Direkten Zeitintegration nach dem Newmark-Verfahren entwickelt, das bei den weiteren Untersuchungen in zahlreichen Bereichen eingesetzt wurde.

Eine Implementierung in das Programmsystem „RM“ als spezielles Tool ist vorgesehen.

3. RICHTLINIE

3.1 ALLGEMEINES

Die Richtlinie beinhaltet insbesondere Vorgaben und Interpretationen der EN 1991-2 bzw. der ÖNorm B 1991-2 (NAD) sowie ergänzende Festlegungen, die gemeinsam mit der ÖBB getroffen wurden. Berücksichtigung fand auch eine von einer UIC-Arbeitsgruppe ausgearbeitete Guideline.

3.2 ANGABEN ZU MODELLIERUNG UND RECHENVERFAHREN

Es werden Aussagen bezüglich der Modellierung komplexerer Tragsysteme z.B. als Trägerroste oder faltwerke aus FEM-Elementen getroffen. Die jeweiligen Grenzen der Anwendung bzw. entsprechende Korrekturfaktoren zur Erzielung korrekter dynamischer Ergebnisse werden angeführt.

Insbesondere werden die Randbedingungen für die Anwendung der derzeit üblichen Rechenverfahren (Modale Analyse, Direkte Zeitintegration) festgelegt und in den wesentlichsten Zügen erläutert. Es handelt sich hierbei z.B. um die korrekte Auswahl der zu berücksichtigenden Eigenformen, die entsprechenden Frequenzgrenzen, die Wahl der Zeitschritte in Abhängigkeit der Konstruktion und ähnliche, mit den Rechenverfahren im Zusammenhang stehende Aspekte.

Als Beispiel wird in der Abb. 3 die Relevanz geeigneter Zeitschritte dokumentiert.

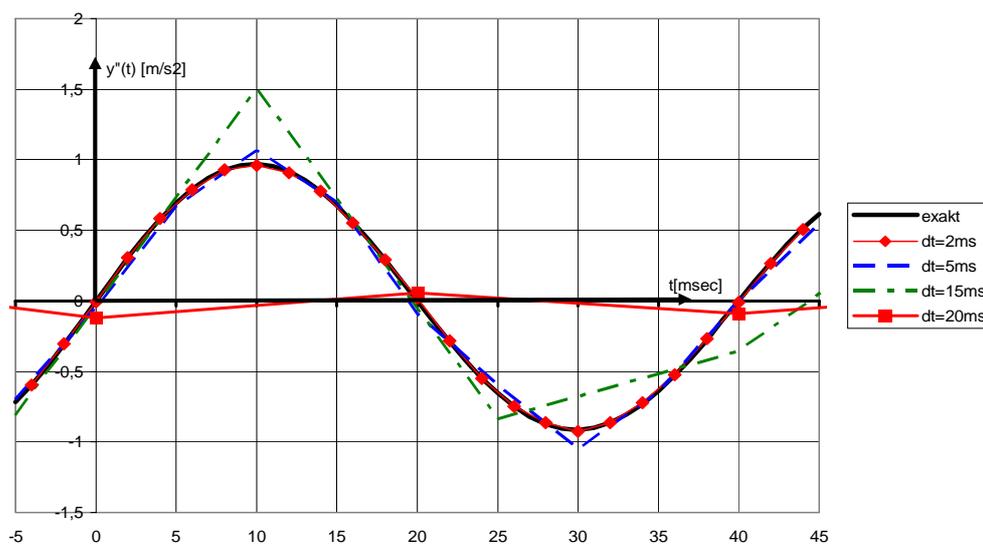


Abbildung 3: Einfluss der Wahl des Zeitschrittes bei numerischer Integration

Dargestellt ist die Beschleunigung einer gedämpften Schwingung, die zu Vergleichszwecken mit verschiedenen Zeitschritten nachgerechnet wurde. Die Frequenz von 25 Hz der simulierten Schwingung entspricht einer Schwingungsdauer von 40 ms. Man erkennt, dass sich bei einem Zeitschritt von 2 ms exakte Lösung und Nachrechnung kaum unterscheiden. Bei einem Zeitschritt von 5 ms ergeben sich bereits Abweichungen von 8 bzw. 14 % bei der positiven bzw. negativen Amplitude. Bei einem Zeitschritt von 15 ms sind die Ergebnisse praktisch unbrauchbar, bei 20 ms ist der gesamte Schwingungsvorgang fast vollständig aus dem Ergebnis eliminiert.

3.3 LASTANSÄTZE UND AUSWERTUNGSBEREICHE

In der gegenständlichen Unterlage werden grundsätzliche Angaben hinsichtlich der möglichen Lastverteilungsansätze der einzelnen Achslasten durch das Schotterbett bzw. die Schiene getroffen.

Einen weiteren Punkt stellt die Festlegung ergänzender Lastbilder für in Österreich zum Einsatz kommende, reale Betriebszüge und deren Berücksichtigung im Rahmen dynamischer Analysen dar. Von Bedeutung ist dies unter anderem bei der Bewertung bestehender Brücken, die nicht vollständig interoperabel sind, aber für die auf der jeweiligen Bahnstrecke zum Einsatz kommenden Betriebszüge eine uneingeschränkte Tauglichkeit aufweisen, so dass keine besonderen Maßnahmen getroffen werden müssen.

Von wesentlicher Bedeutung ist auch die Festlegung der für die Auswertung heranzuziehenden Bereiche der Brückentragwerke, da verschiedene Kriterien nicht für das gesamte Tragwerk relevant sind. Im Bereich der Randbalken ist kein Schotterbett vorhanden, das destabilisieren könnte, deshalb ist die Einhaltung der Grenzwerte für die maximale Beschleunigung des Brückendecks kein Kriterium für diese Teile der Tragstruktur. Ebenso kann z.B. die Einhaltung der maximal zulässigen Verwindung rein auf den unmittelbaren Gleisbereich beschränkt werden, da lediglich dort die Entgleisungsgefahr bei Überschreitungen gegeben ist. Im Gegensatz dazu muss die Tragsicherheit der einzelnen Bauteile in allen Bereichen des Tragwerkes gewährleistet werden, um Schäden an der Konstruktion, und sei es nur in Randbereichen, zu vermeiden. Eine entsprechende Differenzierung kann daher auf den ersten Blick offensichtlich vorhandene Grenzwertüberschreitungen entsprechend relativieren.

3.4 DÄMPFUNGSANSÄTZE

Es wird versucht, eine Klarlegung und anschauliche Darstellung der gemäß Norm anzusetzenden Dämpfungswerte zu erreichen, wobei natürlich auch die aus der Interaktion Fahrzeug/Tragwerk resultierende Zusatzdämpfung entsprechende Berücksichtigung findet.

Ein Aspekt, der ebenfalls in der Richtlinie behandelt wird, ist die Umrechnung der laut Norm konstant angegebenen Dämpfungswerte auf die Rayleigh-Dämpfung (Einsatz z.B. bei Zeitschrittintegration) mit den Koeffizienten α und β . Die unvermeidliche Frequenzabhängigkeit muss in geeigneter Weise Berücksichtigung finden, so dass korrekte Ergebnisse erwartet werden können. Dies wird dadurch erreicht, dass die wesentlich am Ergebnis beteiligten Eigenformen möglichst die vorgegebenen Dämpfungswerte aufweisen, somit sollen im Regelfall die Biege-Grundschiwingung und die erste Biege-Oberschiwingung für die Ermittlung der Koeffizienten herangezogen werden. Der Anteil der meist dazwischen liegenden ersten Torsionsschiwingung wird

etwas überschätzt, die höheren, meist nur unwesentliche Anteile liefernden Moden werden im Ergebnis nur etwas reduziert berücksichtigt.

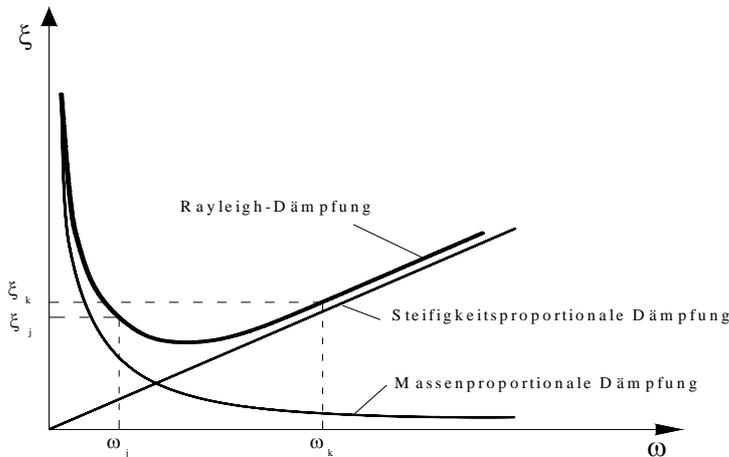


Abbildung 4: Frequenzabhängigkeit der Rayleigh-Dämpfung

4. LEITFADEN FÜR BESTANDSOBJEKTE

4.1 ALLGEMEINES

Die unter Pkt. 3 behandelte Richtlinie beinhaltet allgemeingültige Vorgaben, die sowohl bei einer Vorausberechnung eines neuen Bauwerkes als auch bei einer Nachrechnung eines Bestandsobjektes zu berücksichtigen sind.

Ergänzend werden im gegenständlichen Leitfaden jene Aspekte behandelt, wie mit den aus einer Messung am Bestandsobjekt ermittelten Daten im Hinblick ihrer Bedeutung als Eingangsparameter für eine Adaptionrechnung umzugehen ist. Es handelt sich hierbei auch um die unmittelbare Schnittstelle zum Partnerprojekt „ComTest“ bzw. die dort ausgearbeitete „Richtlinie für die dynamische Messung von Eisenbahnbrücken“.

4.2 SYSTEMANPASSUNGEN

Es werden Erläuterungen zur korrekten Interpretation der durch Messung ermittelten Eigenfrequenzen bzw. der zugehörigen Eigenformen im Hinblick auf das erforderliche Model-Updating geliefert.

Die Hinweise beziehen sich auf die Genauigkeit der Einstellung des adaptierten Systems auf die einzelnen Frequenzen und die Steuerungsmöglichkeiten. Allgemein ist sicher der Ansatz einer möglichst exakten Abstimmung der ersten Biegeeigenform hinsichtlich Frequenz und Form vordringlich, da der Anteil dieser Schwingung im Regelfall für den Hauptpart der relevanten Verformungen und daher auch der Beanspruchungen verantwortlich zeichnet. Die erste Oberschwingung liefert bereits deutlich reduzierte Werte, so dass Abweichungen in kleinerem Umfang durchaus tolerierbar sind. Eine sehr gute Übereinstimmung sollte auch die Grundschiwingung in Brückenquerrichtung aufweisen, da sie insbesondere bei unsymmetrischen Tragwerken relevante Anteile zum Gesamtergebnis beiträgt. Dies ist umso mehr von Bedeutung je enger die beiden Grundschiwingungen frequenzmäßig beieinander liegen.

Die Steuerung der Frequenzen und der Frequenzverhältnisse der einzelnen Eigenformen wird vor allem über die Ansätze jener Parameter erreicht, welche die Steifigkeit bestimmen (z.B. E-Modul, Schubmodul, elastische Einspannungen, Federwerte,...). Nachdem oftmals die Erkenntnisse aus den Messungen nur reduzierte Informationen als Basis für die erforderlichen Systemanpassungen liefern, kann auch keine eindeutige Zuordnung der zu adaptierenden Werte zu den Messdaten vorgenommen werden. In derartigen Fällen ist es oft ausreichend, eine Adaption über ideale Steifigkeitsansätze vorzunehmen, welche die Vielzahl der einzelnen Einflüsse repräsentieren. Eine individuelle Wertung ist je nach Art des Bauwerks, der Anzahl der relevanten Eigenformen und deren Beitrag zum Gesamtergebnis vorzunehmen.

4.3 DÄMPFUNGSANSÄTZE

Nachdem höhere Dämpfungen grundsätzlich günstige Auswirkungen auf die Maximalwerte der einzelnen nachzuweisenden Kriterien (Beschleunigung, Verwindung,...) besitzen, darf ein über den Normvorgaben liegender Ansatz nur bei entsprechend abgesichertem Nachweis getroffen werden. Problematisch sind hierbei die zum Teil markanten Schwankungen der Messergebnisse für einzelne Ereignisse (Zugsüberfahrten). Nachdem die Angaben in der EN 1991-2 grundsätzlich sehr konservativ sind, wird festgelegt, dass darunter liegende Werte nur in jenen Fällen in die Adaptionrechnung einzuführen sind, in denen der Mittelwert der Messergebnisse (ausreichende Anzahl einzelner ausgewerteter Ergebnisse vorausgesetzt) unter dem Normwert liegt. Höhere Dämpfungen dürfen hingegen lediglich dann in Ansatz gebracht werden, wenn keine einzige Auswertung unter diesem Wert liegt, der jeweils ermittelte Mindestwert darf in diesem Fall verwendet werden.

Hinsichtlich der gemäß EN 1991-2 vorgesehenen Zusatzdämpfung, welche die Reduktion der rechnerischen Maximalwerte bei Resonanz auf Grund der gegenseitigen dynamischen Einflüsse der Fahrzeug- bzw. Tragwerksmassen berücksichtigt, wird festgelegt, dass diese jeweils zusätzlich zu den Dämpfungsansätzen gemäß Messauswertung in Anrechnung gebracht werden darf. Als Begründung hierfür ist anzuführen, dass sämtliche Messauswertungen bezüglich der Bauwerksdämpfung nicht unmittelbar während der Zugsüberfahrt vorgenommen werden können, sondern erst während der anschließenden, nicht mehr vom Überfahrtsereignis beeinflussten Ausschwingphase, so dass Effekte aus der Wechselwirkung hierbei nicht mehr gegeben sind.

4.4 ERHÖHTE GRENZWERTE FÜR BESTANDSOBJEKTE

Nachdem in Österreich der Hochgeschwindigkeitsverkehr in großen Bereichen auf Bestandsstrecken abgewickelt wird und es sich bei den Brückenbauwerken oftmals um relativ junge Objekte handelt, die seinerzeit jedoch keine auf die dynamischen Belange bezogene Dimensionierung erfuhren, wurde vom nationalen Normungsinstitut eine Regelung für Bestandstragwerke geschaffen. Im Rahmen der ÖNormen-Regel ONR 24008, die sich mit der Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken beschäftigt, wurden die entsprechenden Festlegungen getroffen.

In den meisten Fällen ist das Kriterium der maximalen Brückendeckbeschleunigung verantwortlich für das Nichtentsprechen eines Bauwerks, wobei allerdings bei der Festlegung der Grenzwerte von 3,5 bzw. 5,0 m/s² für Schotterbett bzw. Feste Fahrbahn ein Sicherheitsfaktor von 2,0 in Ansatz gebracht wurde. Unter der Voraussetzung, dass sämtliche sicherheitsrelevanten Nachweiskriterien (Tragsicherheit, Sicherheit gegen

Entgleisung) uneingeschränkt erfüllt werden, kann für die maximale Beschleunigung der Grenzwert mit 6,0 bzw. 8,0 m/s² angesetzt werden. Dies wird angesichts der wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen (Überfahrt der ungünstigsten Zugskonfiguration exakt mit Resonanzgeschwindigkeit) und der Tatsache, dass eventuell daraus resultierende Veränderungen der Gleislage durch reduzierte Revisionszyklen kompensiert werden können, als zulässig erachtet. Hinsichtlich des Erkennens auftretender Gleisbewegungen wird auf Daten der regelmäßigen, zumindest halbjährlichen Kontroll-Messfahrten des Erhaltungszustand der Gleise zurückgegriffen.

5. REGELPLANUNG

In Abstimmung mit der ÖBB wurden häufig vorkommende Regel-Bauwerkstypen erhoben und für diese Reihenrechnungen angestellt. Die Auswertungen dieser Berechnungen in Form von Diagrammen können als Ersatz für genaue dynamische Analysen des jeweiligen Einzelobjektes herangezogen werden.

Die für einzelne Streckenabschnitte in Österreich vorgesehenen Geschwindigkeiten von 160/200/230/250 km/h fanden entsprechende Berücksichtigung im Rahmen der Auswertungen.

Bei den bearbeiteten Typen handelt es sich grundsätzlich um eingleisige Tragwerke mit Mitteltrennung im Zuge zweigleisiger Bahnstrecken, da diese hinsichtlich der dynamischen Randbedingungen deutlich ungünstiger als vergleichbare zweigleisige Tragwerke einzustufen sind. Folgende Typen wurden bearbeitet:

- Einfeld-Plattentragwerke aus Stahlbeton, Stützweiten 5,00 – 15,00 m,
- Stahlbeton-Rahmenbauwerke, Stützweiten 2,50 – 10,00 m,
- Einfeld-WIB-Tragwerke, Stützweiten 10,00 – 30,00 m.

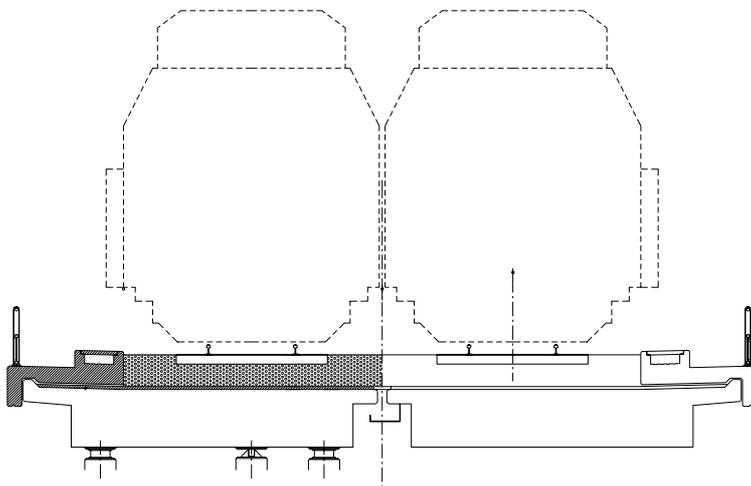


Abbildung 5: Regelquerschnitt für Stahlbeton-Plattentragwerke

Für die Stahlbeton-Platten- und Rahmenbauwerke wurde für die Darstellung in den Diagrammen die zulässige Schlankheit (Bauteilstärke/Stützweite bzw. Lichtweite) über der Stützweite aufgetragen, so dass entsprechende Kurvenscharen für die einzelnen Auswertungsgeschwindigkeiten eine einfache und schnelle Beurteilung ermöglichen. Der Regelquerschnitt und die Betongüte (somit auch E-Modul) sind hierbei fixe Vorgaben.

Bei den WIB-Tragwerken wurde eine andere Darstellungsweise gewählt, da hierbei die gewählten Stahlprofile bestimmend für die Plattenstärke und somit die Steifigkeit sind. In diesem Fall wurde jeweils die für das gewählte Profil maximal zulässige Geschwindigkeit über der Stützweite aufgetragen. Es wurden wiederum der Regelquerschnitt und die Betongüte fix gesetzt, darüber hinaus ist auch die Profilart (HE-B, HE-M,...) bzw. die Anzahl der Profile im Einzelquerschnitt für das einzelne Diagramm festgelegt.

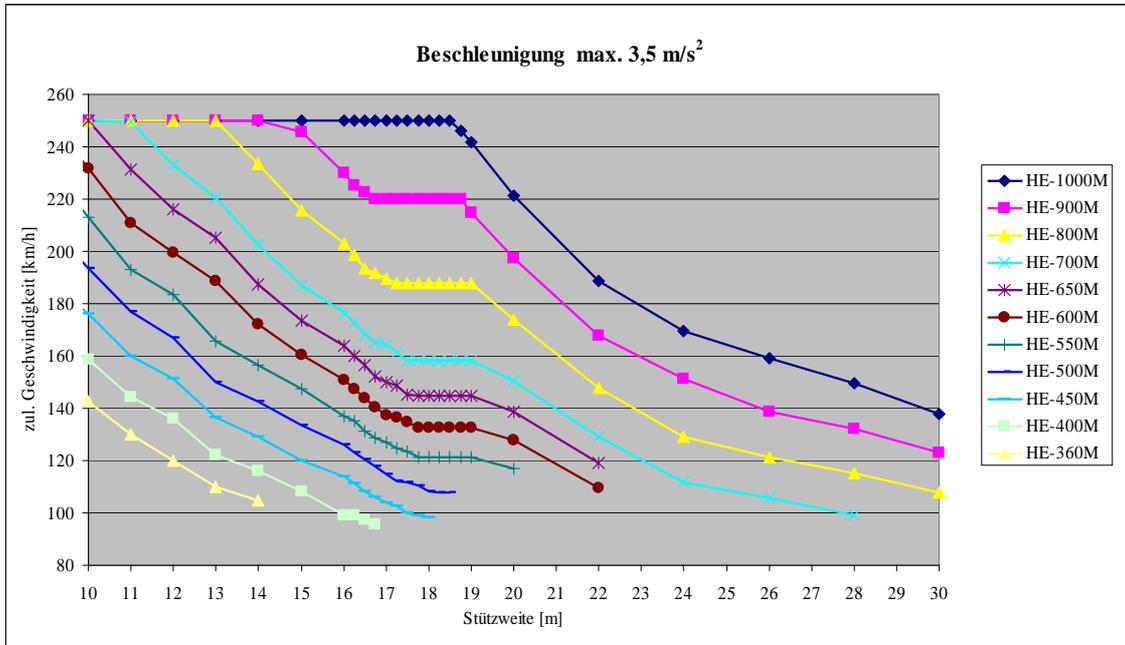


Abbildung 6: Auswertung für WIB-Tragwerke (10 Profile HE-M)

6. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die „Richtlinie für die dynamische Berechnung von Eisenbahnbrücken“ mit dem integrierten Abschnitt, welcher die Besonderheiten bei bestehenden Objekten behandelt, bzw. mit der vorliegenden Regelplanung wird künftig die Aufwendungen im Zusammenhang mit dynamischen Berechnungen von Eisenbahnbrücken deutlich reduzieren und gleichzeitig eine größere Sicherheit für Entscheidungen im Zuge von Bauwerksentwürfen bieten.

Wir hoffen mit der vorliegenden Richtlinie einen Beitrag zur Entschärfung der speziellen Problematik in Österreich, wo es viele relativ kleine, an die lokalen Gegebenheiten angepasste (reduzierte Querschnittsabmessungen) und daher dynamisch empfindlichere Bauwerke gibt, zu liefern.

SCHRIFTENVERZEICHNIS

Pircher, H., 2006. Lösung baodynamischer Probleme mittels analytischer Zeitintegration und Modaler Analyse. Dissertation TU Graz
 UIC. Guidelines for Railway Bridge Dynamic Measurements and Calculations.