

Diploma Thesis

Dynamic calculation of Railway Bridges: Study of different approaches for the Moving Load Model

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Dynamische Berechnung von Eisenbahnbrücken: Untersuchung verschiedener Ansätze für das Moving Load Model

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Philipp Stamminger, BSc

Matr.Nr.: 01225329

unter der Anleitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Josef Fink**

Univ. Ass. Dipl.-Ing. **Bernhard Glatz**

Institut für Tragkonstruktionen
Forschungsbereich Stahlbau
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Oktober 2018



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Zur Simulation von Zugfahrten über Eisenbahnbrücken kommen verschiedene Lastmodelle zur Anwendung. In Hinblick auf die Komplexität des Berechnungsaufwandes unterscheiden sich diese maßgeblich voneinander. Ebenso weicht die Antwort des Tragwerks, in Bezug auf die Vertikalbeschleunigung und Resonanzgeschwindigkeit, je nach Detaillierungsgrad der Berechnung der Zugüberfahrt, voneinander ab. In dieser Arbeit werden zwei Lastmodelle zur Beschreibung von Zugfahrten über Brücken gegenübergestellt. Zum einen ein einfaches analytisches Modell als eine Abfolge von Einzelkräften, zum anderen das komplexere Modell als Mehrkörpersystem, welches die reale Schwingungsantwort von Brückentragwerken genauer abbildet.

Der Hauptteil widmet sich der Variation der Eingangsdaten der Berechnung der Überfahrten des einfachen Rechenmodells. So werden die geometrischen und physikalischen Kennwerte der Züge mit dem Ziel, alternative Berechnungsansätze zu bilden, herangezogen bzw. verändert. Einerseits wird dem Brückentragwerk eine zusätzliche Masse aufgeschlagen, andererseits werden die Achslasten der Folge von Einzelkräften abgemindert. Ziel ist es, eine sichere Näherung zum komplexen Mehrkörpersystem zu erreichen.

Da durch diese Herangehensweise nur Näherungen für einzelne Tragwerke erreicht werden können, wird zum Abschluss der Arbeit der exakte Differenzvektor zwischen den Ansätzen ermittelt. Somit wird sichtbar, wie die Masse und Dämpfung in Abhängigkeit der Brückenlänge und des Zugtyps in der Berechnung des einfacheren Modells adaptiert werden muss, um die Lösung des detaillierten Berechnungsmodells zu erreichen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

Numerous live load models are used in order to simulate train rides over railway bridges. These vary considerably in their computational expense. As far as vertical acceleration and resonance speed are concerned, the response of the supporting framework differs depending on the level of detail that is used to calculate the train crossing. The aim of this thesis is to compare and contrast two live load models regarding train rides over railway bridges: on the one hand, a plain analytic model as a sequence of single forces and on the other hand, a rather complex model as a multibody system. The latter depicts a real vibration response of the bridge support structure in greater detail.

The main body of this thesis is concerned with the variation of incoming data of the plainer calculation model. In order to illustrate alternative calculation methods, geometric and physical parameters of trains are followed and changed. While additional mass is added to the bridge support structure, axle loads of the single forces are diminished. A reasonable approximation to the complex multibody system shall be provided.

Through this approach, approximations can only be given for particular support structures. Hence, the exact differential vector between the approaches shall be identified in this paper. Furthermore, light will be shed on the adaptation of mass and damping ratio within the plainer calculation model, depending on the length of the bridge and the type of train, in order to come to the same conclusion as the more detailed calculation model.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Mechanische Modelle	3
2.1	Modell des Brückentragwerks	3
2.1.1	Annahmen und Voraussetzungen für den Bernoulli-Euler-Balken	4
2.1.2	Bewegungsgleichung des Brückentragwerks	5
2.1.3	Verfahren nach Ritz und Galerkin - Modalanalyse	6
2.2	Modell des Zuges	8
2.2.1	Moving Load Model (MLM)	8
2.2.2	Detailed Interaction Model (DIM)	9
2.3	Berechnung der Schwingungsantwort	11
3	Konfigurationen und Berechnungsansätze	14
3.1	Brückentragwerke	14
3.2	Zugtypen	18
3.2.1	Konfigurationen des ICE 4	18
3.2.2	Konfigurationen des Railjet	20
3.2.3	Konfigurationen des EC 250	21
3.3	Berechnungsansätze	22
3.3.1	Ansatz 1 - Zusatzmasse 2000 kg/m	22
3.3.2	Ansatz 2 - Zusatzmasse aus den Radsatzmassen	23
3.3.3	Ansatz 3 - Zusatzmasse aus den Radsatzmassen und reduzierte Achslasten	24
3.3.4	Ansatz 4 - Zusatzmasse aus den Radsatzmassen durch Energieäquivalenz	25
3.3.5	Ansatz 5 - Zusatzmasse aus den Radsatzlasten durch Energieäquivalenz und reduzierte Achslasten	33
4	Ergebnisauswertung	34
4.1	Darstellung des Geschwindigkeitsverlaufs	34
4.2	Erfassung der kritischen Geschwindigkeit	42
4.3	Auswertung der Berechnung	44
4.3.1	Ergebnisdarstellungen und Interpretation	47
4.3.2	Schlussfolgerung	54
4.4	Hauptparameter der Überfahrt	55
4.4.1	Ergebnisdarstellung nach Hauptparametern	57
4.4.2	Interpretation der Abbildungen	61
5	Auffinden des Differenzvektors zwischen MLM und DIM Berechnung	62
5.1	Bestimmung der Zusatzmasse	62
5.2	Bestimmung der Zusatzmasse und Zusatzdämpfung	63
5.3	Auswertung an definierten Brückentragwerken	65
5.3.1	Interpretation des Differenzvektors der reinen Zusatzmasse	67
5.3.2	Interpretation des Differenzvektors der Zusatzmasse bei variabler Zusatzdämpfung	70

5.3.3	Allgemeine Empfehlung der Zusatzmasse und Zusatzdämpfung	71
6	Schlussfolgerung und Ausblick	74
A	Anhang	77



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kapitel 1

Einleitung

Aufgrund laufender Erneuerungen am Streckennetz und fortschreitender Technologien der Zughersteller steigern sich die Höchstgeschwindigkeiten von Eisenbahnzügen immer mehr. Überfahrten mit höheren Geschwindigkeiten führen im Allgemeinen zu höheren Beanspruchungen am Brückentragwerk. Ein wesentlicher Kennwert zur Beschreibung der Belastung einer Überfahrt am Tragwerk ist die Vertikalbeschleunigung der Brücke.

In der Berechnung spielt gerade für kurze Brückentragwerke die Interaktion des Zuges mit dem Tragwerk eine wesentliche Rolle. Kurze Tragwerke sind oft als Einfeldträgerbrücken ausgeführt. Daher werden in dieser Arbeit nur Tragwerke untersucht, die als statisches System des Einfeldträgers modelliert wurden. Mit Hilfe einer Datenbank der TU Wien, werden Brücken mit Längen bis zu 33,3 m untersucht. Zur Modellierung der Überfahrten können verschiedene Rechenmodelle angewendet werden. In der vorliegenden Arbeit wird auf das *moving load model*, kurz MLM, und auf das *detailed interaction model*, kurz DIM, zurückgegriffen. Das MLM sieht eine Abfolge von Einzelkräften vor, während das DIM, welches als Mehrkörpersystem konzipiert ist, die Wechselwirkungen aus der Interaktion zwischen Fahrzeug und Tragwerk berücksichtigt. Das MLM vernachlässigt hingegen Feder-, Dämpfungs- und Kopplungskräfte, was zu etwaigen Unsicherheiten der Berechnung der Beschleunigung des Tragwerks führen kann. So besteht die Gefahr, die Schwingungsantwort nicht realitätsnah abzubilden. Als Folge könnten zu geringe Auslenkungen des Brückentragwerks, im Vergleich zur komplexeren (und auch realitätsnäheren) Berechnung, resultieren. Eine weitere Bemessung mit diesen Beschleunigungswerten wäre, aufgrund zu geringer Beanspruchung des Tragwerks, mit Unsicherheiten verbunden. Andererseits würden zu hohe Beschleunigungswerte, aufgrund Modellungenauigkeiten, etwaige Unwirtschaftlichkeiten in der Bemessung hervorrufen.

Die DIM Berechnung liefert für einzelne Überfahrten deutlich geringere Beanspruchungen am Tragwerk, im Vergleich zur MLM Berechnung. Aufgrund der geringeren Beschleunigungswerte der Berechnung nach DIM kann in diesen Fällen eher ein positiver Nachweis des Tragwerks erfolgen, als durch Berechnung nach MLM. Zu einem großen Kritikpunkt der DIM Berechnung zählt jedoch, dass die Überfahrten nach DIM komplex in der Anwendung sind. Der Grund dafür besteht einerseits darin, dass entsprechende vorgefertigte Software oft nicht verfügbar ist. Andererseits ist der Berechnungsaufwand durch eine Vielzahl an Konfigurationen der Abfolge von Einzelwägen eines Zuges besonders zeitaufwendig. Somit ist die Simulation der Zugfahrten über Eisenbahnbrücken nach DIM nicht für alle praktischen Anwendungsfälle sinnvoll.

Es wird in dieser Arbeit untersucht, ob mit einfachen Adaptierungen der Eingangsparameter des *moving load model* die Ergebnisse des *detailed interaction model* nachgebildet werden können.

Folgende Forschungsfragen werden in dieser Arbeit bearbeitet und beantwortet:

- Sind bestehende Rechenmodelle durch Änderung der Eingangsparameter in der Lage, die Ergebnisse der komplexeren Mehrkörpersysteme realitätsnah abzubilden? Hier sollen möglichst einfache Ansätze gebildet werden, die für alle Zugtypen angewendet werden können.
- Durch Anpassung welcher Parameter kann der exakte Differenzvektor zwischen den beiden Modellen erzeugt werden, falls keine realitätsnahe Lösung ableitbar ist?

Kapitel 2

Mechanische Modelle

In diesem Kapitel werden die mechanischen Grundlagen und Annahmen der Brückentragwerke festgehalten. Darauf aufbauend erfolgt die Aufstellung der Bewegungsgleichung von Zugfahrten über Eisenbahnbrücken. Anschließend werden die Modelle des Zuges vorgestellt. Für die Simulation der Überfahrten kommen in dieser Arbeit zwei verschiedenen Lastmodelle zur Anwendung. Die wesentliche Kenngröße zur Beschreibung der Tragwerksantwort auf eine Abfolge von einzelnen Wägen eines Zuges stellt die Berechnung der Vertikalbeschleunigung in Brückenmitte dar. Dabei wird die Antwort des Tragwerks in Abhängigkeit des Rechenmodells unterschiedlich genau abgebildet.

Zugfahrten über Eisenbahnbrücken rufen Schwingungen hervor - im Abschluss des Kapitels wird dargestellt, wie die Antwort des Tragwerks in Bezug auf die Schwingungen berechnet werden kann.

2.1 Modell des Brückentragwerks

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Betrachtung von Einfeldbrücken. Basierend auf die Bernoulli - Euler Balkentheorie werden im folgenden Unterpunkt des Kapitels die Annahmen der nachfolgenden Berechnung erläutert.

Die mathematische Beschreibung von Biegebalken führt zu Differentialgleichungen. Gelöst werden diese nach *Mähr* [3] durch die Anwendung von Näherungsbeziehungen. Folgende Verfahren zur Diskretisierung des Einfeldbalkens kommen in dieser Dissertation zur Anwendung:

- „*Verfahren mit konzentrierten Massen*“
- „*Verfahren nach Ritz und Galerkin mit der Modalanalyse als Spezialfall*“
- „*Methode der Finiten Elemente*“

In den weiteren Unterpunkten wird auf die Anwendung der Methode von *Ritz* und *Galerkin* eingegangen, da hier die Lösung der Bewegungsgleichung bei hoher Genauigkeit im Allgemeinen analytisch berechnet werden kann. Dies zeigt wesentliche Vorteile in Bezug auf die Rechendauer vergleichend zur Methode der Finiten Elemente. Aufgrund eventueller Ungenauigkeiten der Berechnungsergebnisse wird auf das Verfahren der konzentrierten Massen in dieser Arbeit nicht eingegangen.

2.1.1 Annahmen und Voraussetzungen für den Bernoulli-Euler-Balken

Bernoulli-Euler-Balken als Brückentragwerke von Eisenbahnbrücken werden, nach *Mähr* [3], als Balken mit konstanten Querschnittseigenschaften über die Spannweite L betrachtet. Zu den Vereinfachungen des Bernoulli-Euler-Balkens zählen:

- Schubdeformationen und Rotationsträgheiten werden vernachlässigt - Betrachtung der Balken nach der *Bernoulli-Euler* Theorie.
- Ebenbleiben der Querschnitte - der Querschnitt bleibt auch nach seiner Verformung in sich eben.

Anhand der Abb. 2.1 wird das Brückentragwerk als Euler-Bernoulli Balken unter den zuvor beschriebenen Annahmen dargestellt.

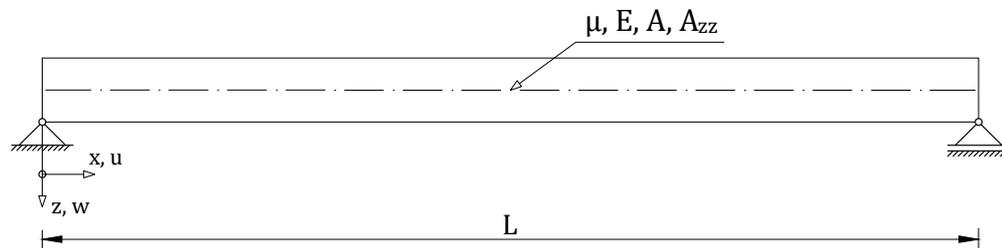


Abb. 2.1: Gerader Balken mit konstanten Querschnittseigenschaften nach [3]

Die in Abb. 2.1 verwendeten Abkürzungen werden wie folgt bezeichnet:

μ ist die Massenbelegung des Brückenbalkens.

E ist der Elastizitätsmodul des Balkens.

A ist die Fläche des Querschnittes.

A_{zz} bezeichnet das Flächenträgheitsmoment.

L ist die Spannweite des Tragwerks.

x ist die Stabsachsenkoordinate.

u beschreibt die Längsverschiebung des Balkens.

z ist die Koordinate normal zur Stabsachse.

w ist die Biegeordinate des Balkens.

2.1.2 Bewegungsgleichung des Brückentragwerks

Nach *Stollwitzer* [4] wird die Bewegungsgleichung für erzwungene Transversalschwingungen eines gedämpften *Bernoulli-Euler* Balkens mittels folgender partieller Differentialgleichung (2.1) angeschrieben:

$$EA_{zz} \frac{\partial^4 w(x, t)}{\partial x^4} + \mu \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial t^2} + 2\mu\omega\zeta \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} = p(x, t) \quad (2.1)$$

Die in Gleichung (2.1) vorkommenden Variablen werden wie folgt bezeichnet:

$w(x, t)$ ist die gesuchte Biegelinie als Funktion der Stabachsenkoordinate x und der Zeit t .

$p(x, t)$ ist die Belastungsfunktion der Anregung (überfahrender Zug) in Abhängigkeit der Stabachsenkoordinate x und der Zeit t .

EA_{zz} ist die Biegesteifigkeit des *Bernoulli-Euler* Balkens.

μ wird als Massenbelegung des Brückentragwerkes bezeichnet.

ω ist die Eigenkreisfrequenz.

ζ ist das Lehr'sche Dämpfungsmaß des Tragwerks.

Zur Lösung der Differentialgleichung aus Gl. (2.1) wird diese vorerst als homogene Differentialgleichung mit ungedämpfter Schwingung angeschrieben. Nach Streichen des Lastterms und Dämpfungsterms in Gl. (2.1) ergibt sich die Differentialgleichung des ungedämpften *Bernoulli-Euler* Balkens zu:

$$EA_{zz} \frac{\partial^4 w(x, t)}{\partial x^4} + \mu \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2.2)$$

Unter Anwendung des *Bernoullischen* Separationsansatzes werden die Veränderlichen der Biegelinie $w(x, t)$ aus Gl. (2.2) getrennt:

$$w(x, t) = \phi(x) \cdot q(t) \quad (2.3)$$

Durch Einbeziehen des Lösungsansatzes der ortsabhängigen Variable $\phi(x)$

$$\phi(x) = C \cdot e^{\lambda x} \quad (2.4)$$

bzw. der zeitabhängigen Variable $q(t)$ aus Gl. (2.3) mit den Integrationskonstanten A, B, C

$$q(t) = A \cdot \cos \omega t + B \cdot \sin \omega t \quad (2.5)$$

und unter Einbeziehen der Randbedingungen des in Abb. 2.1 gelenkig gelagerten *Bernoulli-Euler* Balkens

$$\phi(x=0) = 0 \quad \Rightarrow \quad \phi''(x=0) = 0 \quad (2.6)$$

$$\phi(x=L) = 0 \quad \Rightarrow \quad \phi''(x=L) = 0 \quad (2.7)$$

und durch Aufstellen der Anfangsbedingungen:

$$q(t=0) = A \quad \dot{q}(t=0) = B\omega \quad (2.8)$$

ergibt sich die Lösung der Eigenkreisfrequenzen ω_j und der zugehörigen Eigenfunktionen $\phi_j(x)$ des ungedämpften Systems zu:

$$\omega_j = \left(\frac{j\pi}{L}\right)^2 \sqrt{\frac{EA_{zz}}{\mu}} \quad \text{mit } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

$$\phi_j(x) = \sin\left(\frac{j\pi x}{L}\right) \quad \text{mit } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.10)$$

Genau Herleitungen und Erläuterungen zur Beschreibung der Eigenkreisfrequenz bzw. Eigenfunktion (Gl. 2.9 und Gl. 2.10) können in der Dissertation von *Mähr* [3] nachgelesen werden.

Unter Einbeziehen des Lehr'schen Dämpfungsmaßes ζ kann die Eigenkreisfrequenz des gedämpften Systems $\omega_{d,j}$ durch Gl. (2.11) zu

$$\omega_{d,j} = \sqrt{\omega_j^2 - \zeta^2} \quad (2.11)$$

angeschrieben werden.

Nach *ÖNORM EN 1992* [7] bewegt sich das Lehr'sche Dämpfungsmaß für schwach gedämpfte Systeme in einem Bereich $\zeta \ll 1$. Daher kann der Ausdruck der Eigenkreisfrequenz des ungedämpften Systems gleichlautend für das gedämpfte System herangezogen werden. Somit folgt Gl. (2.11) zu:

$$\omega_{d,j} \approx \omega_j \quad (2.12)$$

2.1.3 Verfahren nach Ritz und Galerkin - Modalanalyse

Nach *Ziegler* [2] besitzen verformbare Körper eine unendliche Anzahl an Freiheitsgraden. Wie schon zuvor erwähnt, werden zur Lösung der Differentialgleichungen Näherungsbeziehungen angewendet. Hier werden die partiellen Differentialgleichungen in gewöhnliche oder algebraische Gleichungen übergeführt. Durch Diskretisierung wird das Ausgangssystem mit einer Anzahl an unendlich vielen Freiheitsgraden in ein System mit einer Anzahl an endlichen vielen Freiheitsgraden übergeführt. Die entstehenden Gleichungen sind dadurch einfacher zu lösen - zudem bleiben die wesentlichen dynamischen Eigenschaften des Körpers erhalten.

Das Verfahren von *Ritz* und *Galerkin* beruht auf der Annahme, dass sich die gesuchte Verformungsstruktur $w^*(x, t)$ des Balkens, ähnlich zum *Bernoullischen* Separationsansatz (Gl. (2.3)), aus einen orts- und zeitabhängigen Anteil beschreiben lässt:

$$w^*(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} q_j(t) \cdot \varphi_j(x) \quad (2.13)$$

Die in Gl. (2.13) vorkommenden zeitabhängigen Variablen $q_j(t)$ werden auch als Lagekoordinaten bezeichnet. Durch die Funktion der Lagekoordinate $q_j(t)$ lässt sich die Lage eines jeden Ortsvektors zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreiben.

Die Funktionen $\varphi_j(x)$ stellen die gewählten Ansatzfunktionen dar, die die kinematischen Randbedingungen des Systems erfüllen. Um das dynamische Verhalten des Systems beschreiben zu können, werden als Ansatzfunktionen für $\varphi_j(x)$ die Eigenfunktionen $\phi_j(x)$ des ungedämpften Systems aus Gl. 2.10 herangezogen.

In weiterer Folge kann die Bewegungsgleichung nach *Mähr* [3, S.103], unter Anwendung der Modalanalyse, wie folgt angeschrieben werden:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{Z}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = \mathbf{p}_z \quad (2.14)$$

Die in Gl. (2.14) enthaltenen Variablen werden wie folgt bezeichnet:

\mathbf{M}	modale Massenmatrix der Brücke
\mathbf{K}	modale Steifigkeitsmatrix der Brücke
\mathbf{Z}	modale Dämpfungsmatrix der Brücke
\mathbf{p}_z	modaler Lastterm (als Funktion des überfahrenden Zuges)
\mathbf{q}	generalisierte Lagekoordinate

Durch diesen Ablauf wird die Lösung wesentlich erleichtert, da die Bewegungsgleichungen durch den *Ritz'schen* Ansatz aus Gl. (2.13) für die jeweiligen Eigenschwingungsformen entkoppelt werden. Demnach können die Gleichungen auch getrennt gelöst werden.

Somit ist die gesuchte Biegelinie $w^*(x, t)$ durch Lösung der modalen Bewegungsgleichung aus Gl. (2.14) und rückwärtiges Einsetzen der generalisierten Lagekoordinate $q(x, t)$ in den *Ritz'schen* Ansatz (siehe Gl. (2.13)) zu jedem Zeitpunkt bestimmt.

Nach zweimaliger zeitlicher Ableitung der Biegelinie $\ddot{w}^*(x, t)$ ergibt sich der Beschleunigungsverlauf $a(x, t)$ zu:

$$a(x, t) = \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

Ausführliche Herleitungen sind in den Literaturangaben (Arbeiten von *Mähr* [3] bzw. *Treder* [5]) zu finden.

2.2 Modell des Zuges

In diesem Unterpunkt werden zwei Modelle der überfahrenden Fahrzeuge vorgestellt. Das erste und auch einfachere Modell beschränkt sich auf eine Abfolge von Einzelkräften, die das Brückentragwerk in einem definierten Abstand (Achsabstand) passieren. Dieses Modell beschreibt *Domenech et. al.* [6] als *moving load model*, kurz MLM. Im zweiten Modell wird jeder Wagen des Zuges als Mehrkörpermodell betrachtet. Hier fließen sowohl die Dämpfer- und Federkräfte, als auch die Massen und deren Trägheiten bei der Modellbildung ein. Daher wird dieses Modell nach *Domenech et. al.* [6] als *detailed interaction model*, kurz DIM, bezeichnet.

Nach *Treder* [5] hat das angewandte Zugmodell Auswirkungen auf die Amplituden des Beschleunigungs- und Verschiebungsverlaufs entlang des Brückentragwerks. Auch die auftretenden Geschwindigkeiten unterscheiden sich in Bezug auf die maximalen Auslenkungen.

2.2.1 Moving Load Model (MLM)

Dieser analytische Ansatz basiert darauf, dass sich die Folge von Einzelkräften mit konstanter Geschwindigkeit v entlang der Brücke bewegen. Zudem bleiben Feder-, Dämpfer- und auch Massenträgheiten unberücksichtigt. In Abb. 2.2 ist die Überfahrt der Punktlasten entlang eines Brückentragwerkes dargestellt.

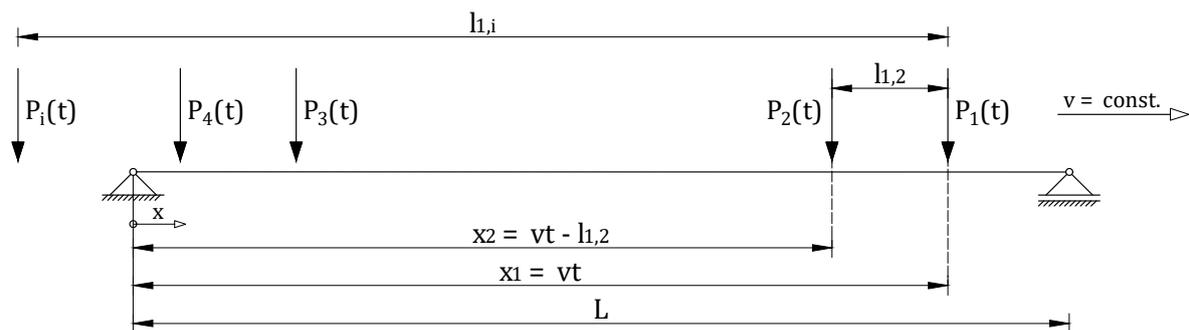


Abb. 2.2: Überfahrt unter bewegten Lasten *moving load model* (MLM) nach [3]

Der Abstand zwischen der i -ten Kraft zur ersten wird mit $l_{1,i}$ bezeichnet. Der Abstand des ersten Lagerkörpers zur jeweiligen Last P_i in Abhängigkeit der Zeit t wird als Variable x_i , in Gl. (2.16), wie folgt berechnet:

$$x_i = vt - l_{1,i} \quad \text{mit } i = 1, 2, \dots, m \quad (2.16)$$

Die Belastungsfunktion p_z kann, nach *Mähr* [3], folgendermaßen angeschrieben werden:

$$p_z = \sum_{i=1}^m P_i \cdot \Gamma_i(x_i(t)) \cdot \delta(x - x_i(t)) \quad (2.17)$$

Die Funktion $\Gamma_i(x_i)$ beschreibt, ob sich die i -te Kraft zum Zeitpunkt t auf der Brücke befindet. Daher wird die Rechteckfunktion Γ_i als *Heavisidesche Sprungfunktion* H in Gl. (2.18) derart definiert:

$$\Gamma_i(x_i(t)) = H(x_i) - H(x_i - L) = \begin{cases} 1 & \text{für } 0 < x_i < L \\ 0 & \text{für } x_i < L \text{ oder } L < x_i \end{cases} \quad (2.18)$$

Die Stellung der einzelnen Kräfte P_i wird mittels der Dirac'schen Deltafunktion $\delta(x - x_i)$ berücksichtigt, die nach Gl. (2.19) folgende Funktionswerte annehmen kann:

$$\delta(x - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{für } x - x_i = 0 \\ 0 & \text{für } x - x_i \neq 0 \end{cases} \quad (2.19)$$

Schlussendlich ergibt sich nach Mähr [3] der Belastungsterm p_z als Summe des Produkts der Einzelkräfte P_i , mit der Rechteckfunktion $\Gamma_i(x_i)$ und der Eigenfunktion $\phi(x_i)$ zu:

$$p_z = \sum_{i=1}^m P_i \cdot \Gamma_i(x_i) \cdot \phi(x_i) \quad (2.20)$$

2.2.2 Detailed Interaction Model (DIM)

In diesem Modell werden nach Mähr [3] die Gewichtskräfte, Federkräfte, Dämpferkräfte und auch Kopplungskräfte der einzelnen Elemente des Fahrzeuges berücksichtigt. In Abb. 2.3 ist die Überfahrt des Mehrkörpermodells entlang eines Brückentragwerkes dargestellt.

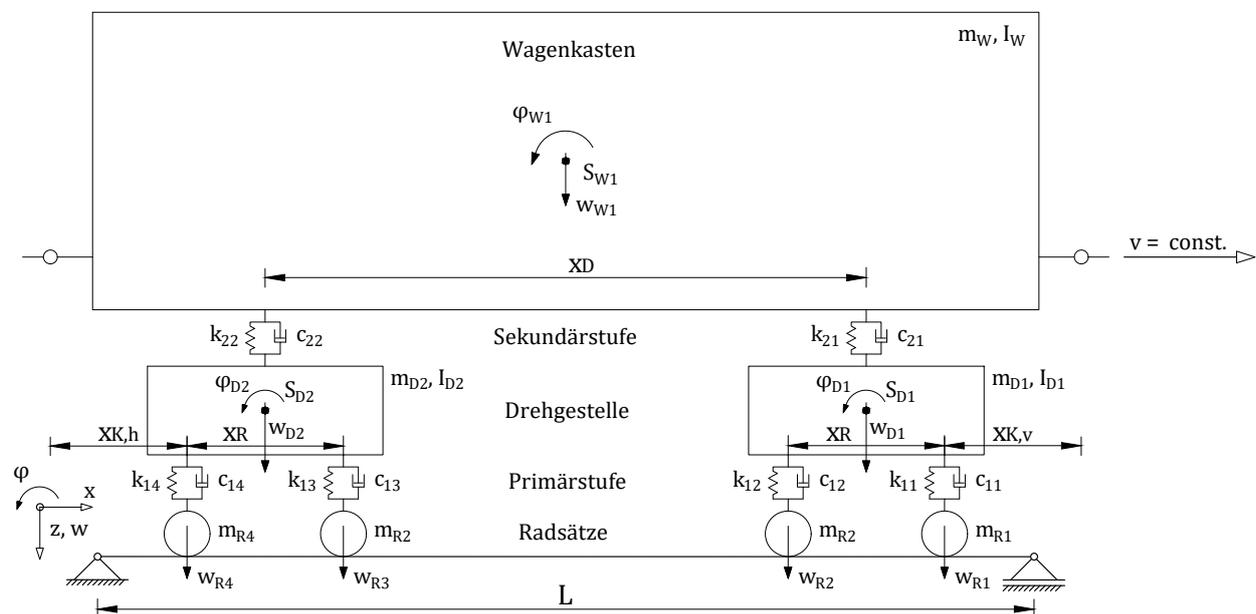


Abb. 2.3: Interaktionsmodell des Mehrkörpersystems - *detailed interaction model* (DIM) nach [3]

Die Bewegungsgleichungen des Mehrkörpersmodells werden nach Mähr [3] mit dem *D'Alembertschen* Prinzip formuliert. Die Annahmen setzen sich aus folgenden Bedingungen zusammen:

1. Das Schienenfahrzeug besteht aus starren Körpern, welche sich mit konstanter Geschwindigkeit v entlang der Brücke bewegen.

2. Die Dehnung der Federn ist proportional zur einwirkenden Kraft - diese Linearität unterliegt dem *Hooke'schen* Gesetz.
3. Die Dämpfer sind viskos, zudem werden die Dämpfungskoeffizienten als konstant angenommen.
4. Als kinematische Zwangsbedingung muss in vertikaler Richtung zu jedem Zeitpunkt Kontakt zwischen Rad und Schiene vorliegen.
5. Zudem wird die Reibung zwischen Rad und Schiene vernachlässigt.

Nach *Mähr* [3] ergibt sich die Bewegungsgleichung für das auf der Schiene abrollende Mehrkörpersystem zu:

$$\mathbf{K}\mathbf{u} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} = -\mathbf{F}_w - \mathbf{F}_{\dot{w}} \quad (2.21)$$

Wobei die darin vorkommenden Matrizen und Vektoren wie folgt definiert sind:

- \mathbf{K} Steifigkeitsmatrix des Fahrzeuges
- \mathbf{C} Dämpfungsmatrix des Fahrzeuges
- \mathbf{M} Massenmatrix des Fahrzeuges
- \mathbf{u} Vektor der Lagekoordinaten der Freiheitsgrade des Systems
- \mathbf{F}_w Vektor der Federkräfte
- $\mathbf{F}_{\dot{w}}$ Vektor der Dämpferkräfte

Da sich das Mehrkörpermodell in ständiger Kopplung mit dem Brückentragwerk befindet, können die Kopplungskräfte $P_i(x_i)$ nach Abb. 2.4 wie folgt berechnet werden:

$$P_i(x_i) = F_{ist} - F_{k1i} - F_{c1i} - f_i \quad (2.22)$$

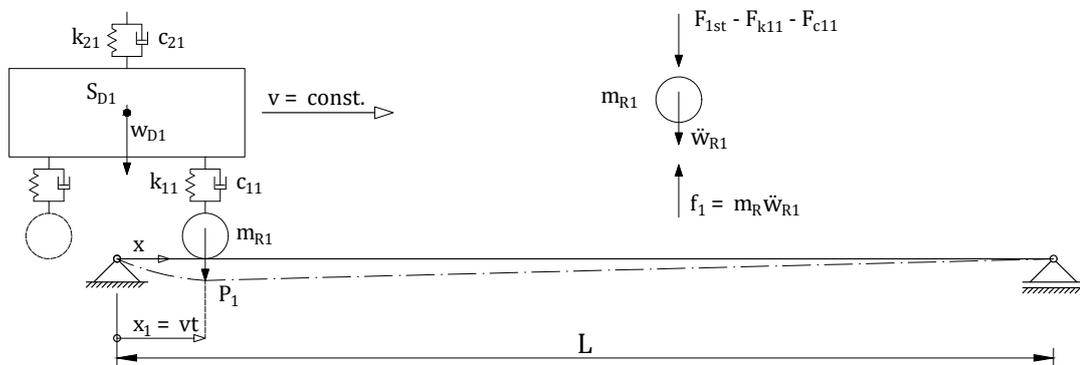


Abb. 2.4: Kopplung des Fahrzeug an das Brückentragwerk nach [3]

Die in Gl. (2.22) vorkommenden Terme werden wie folgt bezeichnet:

F_{ist} ist die Aufstandskraft unter dem i -ten Radsatz (inkl. Masse des Radsatzes) bezogen auf die statische Ruhelage.

F_{k1i} wird als Federkraft der Primärstufe unter dem i -ten Radsatz (nur unter dynamischer Anregung) bezeichnet.

F_{c1i} ergibt sich zur Dämpferkraft der Primärstufe unter dem i -ten Radsatz (nur unter dynamischer Anregung).

f_i ist die fiktive Trägheitskraft des betrachteten Radsatzes nach Gl. (2.23).

Die fiktive Trägheitskraft des betrachteten Radsatzes f_i setzt sich aus folgenden Termen zusammen:

$$f_i = m_R \ddot{w}_i \quad (2.23)$$

Nach *Mähr* [3] kann durch Formel (2.24) der resultierende generalisierte Lastterm eines Fahrzeuges folgendermaßen angeschrieben werden:

$$\mathbf{p}_z = \sum_{i=1}^4 \left\{ F_{ist} - F_{k1i} - F_{c1i} - m_{Ri} \sum_{j=1}^n \ddot{w}_i^*(x, t) \right\} \Gamma_i(x_i) \cdot \phi(x_i) \quad (2.24)$$

Der in Gl. (2.24) enthaltene Term $\ddot{w}_i(x, t)$ ist der Funktionswert der Beschleunigung in vertikaler Richtung. Als weitere Kenngrößen fließen nach *Mähr* [3] die Rotationsgeschwindigkeit des Querschnitts (*Coriolis* Beschleunigung), sowie die Zentripetalbeschleunigung aufgrund der Krümmung des Biegebalkens ein.

2.3 Berechnung der Schwingungsantwort

Mähr [3] hat in seiner Dissertation ein *MATLAB* Rechendokument erstellt, um eine automatisierte Berechnung einer Zugüberfahrt der genannten Eingangsmodelle aus *Kapitel 2* durchführen zu können. *Treder* [5] hat dieses in seiner Arbeit erweitert. Die Aufstellung der Bewegungsgleichungen erfolgt mittels partieller Differentialgleichungen (siehe *Kapitel 2.1*). Gelöst werden diese für das *detailed interaction model* (DIM) mit numerischen Rechenmodellen. Beim Modell der bewegten Lasten *moving load model* (MLM) sind auch analytische Berechnungen zielführend.

Zur Berechnung der Zugfahrten über Brückentragwerke wird in dieser Arbeit das Programm *MATLAB* herangezogen. Da sich der Aufsatz *Simulink* besonders zur numerischen Lösung von Differentialgleichungen eignet, wird ein Teil in dieser Programmebene berechnet.

Nach *Mähr* [3] sind zur dynamischen Berechnung der Antwort des Brückentragwerkes einer Zugüberfahrt folgende Eingangsdaten relevant:

- Spannweite L des Brückentragwerkes
- Überfahrgeschwindigkeit des Zuges v
- Brückenmasse m_B

- Biegesteifigkeit der Brücke EA_{zz}
- Dämpfung des Brückentragwerks ζ
- Lastmodell der Anregung (Abhängig vom überfahrenden Zug)

Gemäß der *Richtlinie zur dynamischen Berechnung von Eisenbahnbrücken* der ÖBB Infrastruktur [1] liegt zwischen maximaler Tragwerksbeschleunigung bzw. zugehöriger Resonanzgeschwindigkeit eine Proportionalität zur Brückenmasse m_B vor. Das bedeutet, dass eine Erhöhung der Brückenmasse eine Verringerung der Resonanzgeschwindigkeit und auch der Beschleunigungsspitzen herbeiführt.

Nach *Mähr* [3] bzw. *Treder* [5] sind zwei verschiedene Resonanzmechanismen von Bedeutung:

Das **erste Resonanzphänomen** entsteht, wenn die Eigenkreisfrequenz der Anregung Ω (oder eine ganzzahlige Vielfache davon) gleich der Eigenkreisfrequenz der Brücke ω_j ist.

$$\omega_j = \Omega \quad (2.25)$$

Wobei die Eigenkreisfrequenz der Brücke ω_j in Gl. (2.25) wie folgt berechnet wird:

$$\omega_j = f_i \cdot 2\pi \quad (2.26)$$

Die Eigenkreisfrequenz der Anregung Ω ergibt sich zu:

$$\Omega = \frac{\pi v}{L} \quad (2.27)$$

Die in Gl. (2.26) - (2.27) verwendeten Variablen sind die Eigenfrequenzen der Brücke f_i , die Resonanzgeschwindigkeit des überfahrenden Zuges v und die Spannweite der Brücke L .

Durch Zusammenfügen der Terme ergibt sich die Resonanzgeschwindigkeit v zu:

$$v = \frac{2L \cdot f_i}{m} \quad \text{mit } i = 0, 1, 2, \dots, n \quad m = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.28)$$

Das **zweite Resonanzphänomen** entsteht dadurch, dass sich die Amplitude mit steigender Lastanzahl aufschaukelt. In Abhängigkeit der Periodendauer T ergibt sich die Resonanzgeschwindigkeit $v_{cr,i,k}$. Aufgrund dieser Abhängigkeit entsteht Resonanz, wenn die Periodendauer mit der Eigenfrequenz der Brücke übereinstimmt.

Die Berechnung der Periodendauer T ist in Gl. (2.29) ersichtlich.

$$T = \frac{d}{v} = \frac{k}{f_i} \quad \text{mit } i = 0, 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.29)$$

Aus Gl. (2.29) berechnet sich die Resonanzgeschwindigkeit $v_{cr,i,k}$ zu:

$$v_{cr,i,k} = \frac{d \cdot f_i}{k} \quad \text{mit } i = 0, 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.30)$$

In Gl. (2.29) und (2.30) wird d als äquidistanter Lastabstand bezeichnet.

Für den äquidistanten Lastabstand d können gemäß *Domenech et. al.* [6] folgende Abstände von Bedeutung sein:

- d_R ist der Abstand der Radsätze.
- d_D kennzeichnet den Drehgestellabstand.
- d_w ergibt sich als Wagenlänge (bzw. Abstand der Puffer).

Die zuvor definierten Abstände des Lastabstandes finden sich in Abb. 2.5 wieder.

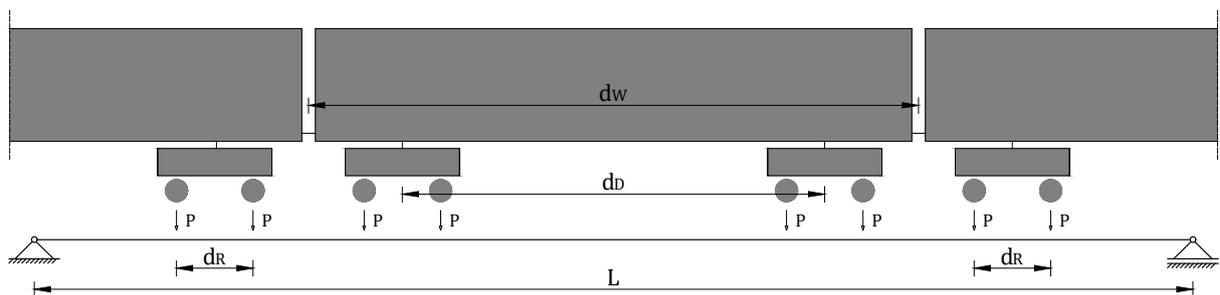


Abb. 2.5: äquidistanter Lastabstand d gem. *Domenech et. al.* [6]

Kapitel 3

Konfigurationen und Berechnungsansätze

Dieses Kapitel umfasst eine graphische Einteilung aller, in dieser Arbeit behandelten Brückentragwerke, nach Spannweite und Massenbelegung gegliedert. Zusätzlich folgt die Trennung der Tragwerke nach deren Bauarten. Anschließend werden die wesentlichen dynamischen Kenngrößen der Brücken konkretisiert. Darauf folgt eine Beschreibung der untersuchten Zugtypen, vertiefend wird auch eine Aufstellung der behandelten Zugkonfigurationen dargelegt. Zum Abschluss des Kapitels werden alternative Berechnungsansätze des MLM zur Simulation einer Zugfahrt über eine Brücke formuliert.

3.1 Brückentragwerke

Diese Arbeit untersucht nur ausgewählte Brückentragwerke des Eisenbahnnetzes der Österreichischen Bundesbahnen entlang der Westbahnstrecke. Die Berechnung der Zugfahrten beschränkt sich aufgrund einer Vielzahl an Brücken auf insgesamt 75 Tragwerke. Die Auswahl der zu untersuchenden Tragwerke erfolgte in Absprache mit dem Institut für Stahlbau. Somit kann ein aussagekräftiger Vergleich der verschiedenen Brückenlängen und Bauarten sichergestellt werden.

Die 75 Brückentragwerke unterscheiden sich nach Konstruktionstyp wie folgt:

- 15 Stahl - Deckbrücken
- 47 Stahlbeton - Plattenbrücken
- 11 Walzträger im Beton - Tragwerke (WIB)
- 2 Verbund - Deckbrücken

Die aufgelisteten Tragwerke unterscheiden sich hinsichtlich deren Massenbelegung μ , Spannweite L und auch Biegesteifigkeit EA_{zz} . In Abb. 3.1 sind die Brücken nach deren Spannweite L bzw. Massenbelegung μ geordnet.

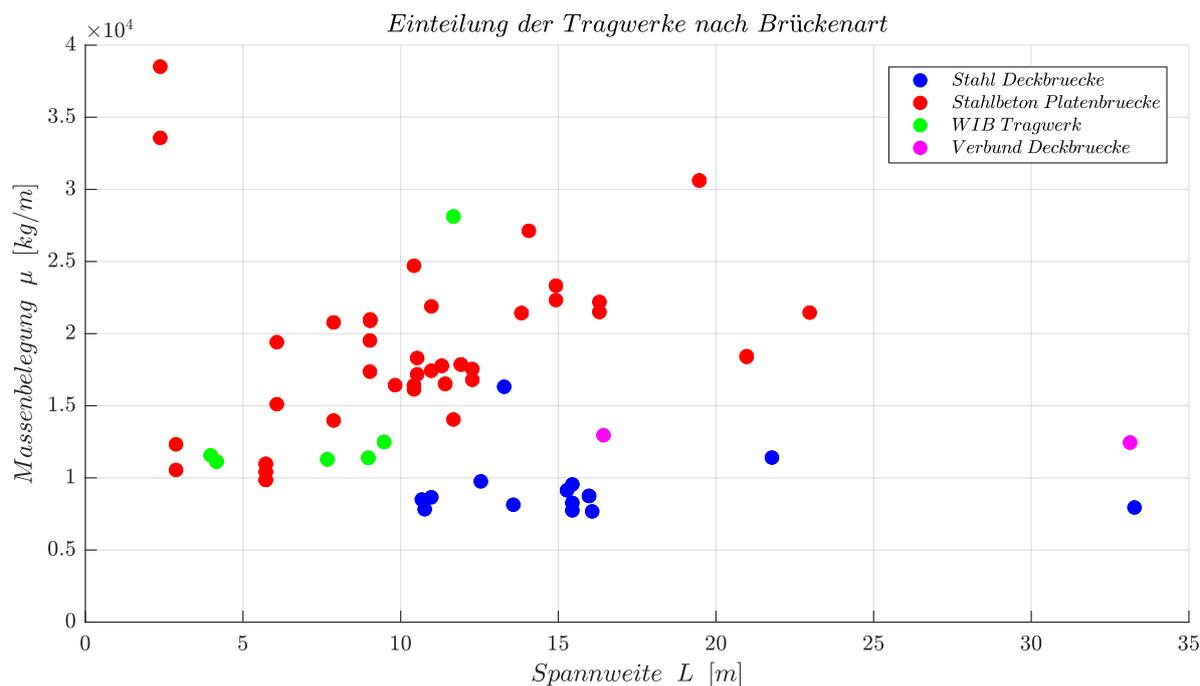


Abb. 3.1: Einteilung der Brückentragwerke

In weiterer Folge werden die wesentlichen dynamischen Kenngrößen der Brückentragwerke erarbeitet.

Die **Eigenfrequenzen** der Brücken ergeben sich durch Aufstellung der Formel der Eigenkreisfrequenz w_j (Gl. (2.9)) unter Anwendung der Beziehung des ersten Resonanzphänomens aus Gl. (2.26). Somit kann die erste Eigenfrequenz der Brücke (Index $i = 0$) mittels der ersten Eigenkreisfrequenz (Index $j = 1$) durch Kenntnis der Massenbelegung μ , der Spannweite L und der Biegesteifigkeit EA_{zz} des Tragwerks folgendermaßen berechnet werden:

$$f_0 = \frac{\pi}{2L^2} \cdot \sqrt{\frac{EA_{zz}}{\mu}} \quad (3.1)$$

Die **Eigenschwingungsformen** von Brückentragwerken sind weitere dynamischen Parameter, die in den Berechnungen einfließen. Gemäß der *Richtlinie zur dynamischen Berechnung von Eisenbahnbrücken* der ÖBB Infrastruktur [1] gibt die zur Eigenfrequenz gehörende Eigenschwingungsform die Bewegungskomponente des Brückenbalkens an.

Weiters zählt die **Dämpfung** des Brückentragwerks, neben der Eigenfrequenz und der Eigenschwingungsform, zu den dynamischen Kenngrößen. Die Dämpfung der Brücke führt zu einer Verringerung der Amplitude der freien Schwingung. Somit werden die Auslenkungen der Vertikalbeschleunigung des Tragwerks infolge einer Zugüberfahrt abgemindert. Der Wert des Lehr'schen Dämpfungsmaß ζ ergibt sich aus der *ÖNORM EN 1991-2* [7] in Abhängigkeit der Brückenart und der Spannweite L nach Tab. 3.1 bzw. Tab. 3.2 zu:

Tab. 3.1: Dämpfung für Brücken mit einer Spannweite $L < 20m$

Brückentyp	ζ unterer Grenzwert der kritischen Dämpfung [%]
Stahl und Verbund	$\zeta = 0,5 + 0,125 \cdot (20 - L)$
Spannbeton	$\zeta = 1,0 + 0,07 \cdot (20 - L)$
Walzträger in Beton und Stahlbeton	$\zeta = 1,5 + 0,07 \cdot (20 - L)$

Tab. 3.2: Dämpfung für Brücken mit einer Spannweite $L \geq 20m$

Brückentyp	ζ unterer Grenzwert der kritischen Dämpfung [%]
Stahl und Verbund	$\zeta = 0,5$
Spannbeton	$\zeta = 1,0$
Walzträger in Beton und Stahlbeton	$\zeta = 1,5$

Nach [7] kann eine Zusatzdämpfung $\Delta\zeta$ für jene Tragwerke unter einer Spannweite von 30 m berücksichtigt werden. Aufgrund der Interaktion zwischen Fahrzeug- und Brückenmasse ergibt sich eine Reduktion der Systemantwort dieser Brücken bei Berücksichtigung der Zusatzdämpfung in den Berechnungen.

Die zusätzliche Dämpfung kann nach [7] in Abhängigkeit der Spannweite des Brückentragwerks L wie folgt berechnet werden:

$$\Delta\zeta = \frac{0,01787L - 0,00064L^2}{1 - 0,0441L - 0,0044L^2 + 0,0000255L^3} \quad (3.2)$$

In Abb. 3.2 wird die Funktion der Zusatzdämpfung $\Delta\zeta$ gemäß Gl. (3.2) für Spannweiten von bis zu 30 m veranschaulicht:

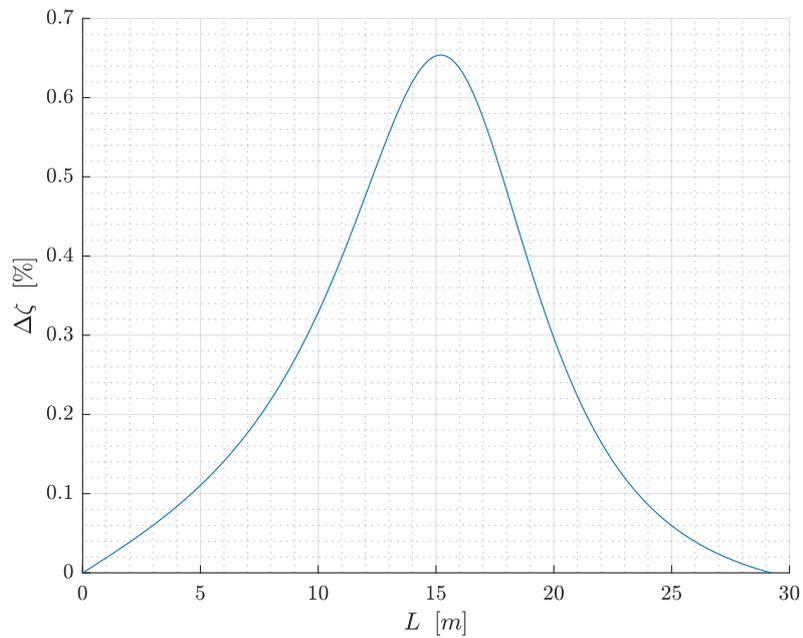


Abb. 3.2: Zusatzdämpfung $\Delta\zeta$ gemäß [7]

Im Anhang sind in der Tabelle A.1 die 75 untersuchten Tragwerke und deren Parameter aus der Datenbank des Instituts für Stahlbau der Technischen Universität Wien ersichtlich.

3.2 Zugtypen

In diesem Abschnitt werden die in der Arbeit untersuchten Zugkonfigurationen angeführt. Grundsätzlich wurden drei verschiedene Zugtypen behandelt. Zu diesen zählen acht Konfigurationen des ICE 4 (Fa. Siemens), 16 Konfigurationen des ÖBB Railjet (Fa. Siemens) und fünf Konfigurationen des EC 250 (Fa. Stadler).

Abb. 3.3 gibt einen Überblick der untersuchten Züge.



Abb. 3.3: Zugtypen: Links: ICE 4 (Siemens AG [9]), Rechts: Railjet (Siemens AG [9]), Unten: EC 250 (Stadler Rail AG [10])

3.2.1 Konfigurationen des ICE 4

Dieser Zugtyp wird, nach *Siemens AG* [8], von der Deutschen Bahn für den Fernverkehr eingesetzt. Das Konzept des ICE 4 umfasst zwei verschiedene Modelle, welche als *7-Teiler* bzw. *12-Teiler* bezeichnet werden. Der Unterschied zwischen diesen Modellen liegt in der Wagenanzahl. So besteht der *7-Teiler* aus insgesamt sieben Wägen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 230 km/h, der *12-Teiler* aus zwölf Wägen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h.

Angetrieben wird der Zug, laut *Siemens AG* [8], auf Grundlage des *Powercar-Konzepts*. Basierend auf dem Antriebskonzept sind die Antriebsachsen entlang des Zuges kontinuierlich verteilt. Somit kann der gesamte Zug, ohne jeglicher Umkuppelung, in beiden Richtungen verkehren.

Anhand dieser zwei Modelle wurden insgesamt acht verschiedene Stellungen untersucht. Diese unterscheiden sich einerseits nach der Fahrtrichtung, und andererseits nach der Kopplung mehrerer Garnituren (hier wurden zwei *7-Teiler* zu einer Garnitur zusammengefasst).

In der nachfolgenden Abb. 3.4 ist die Basiskonfiguration der siebenteiligen Garnitur des ICE 4 dargestellt. Nach dem *Powercar Konzept* wird zwischen drei verschiedenen Bauarten von Wägen unterschieden. Dazu zählen der Endwagen (EW), der Mittelwagen (MW) und auch der Triebwagen (TW). Die grau hinterlegten Wagen stellen jene dar, die gemäß des Antriebskonzepts angetrieben werden.

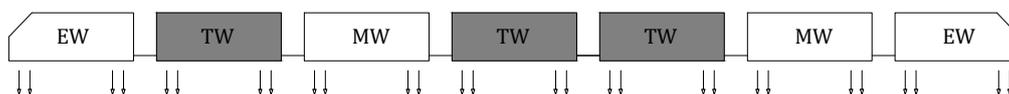


Abb. 3.4: Konfiguration ICE 4 7-Teiler gem. TU Datenbank

Die Abb. 3.5 stellt die zwölfteilige Garnitur des ICE 4 dar.

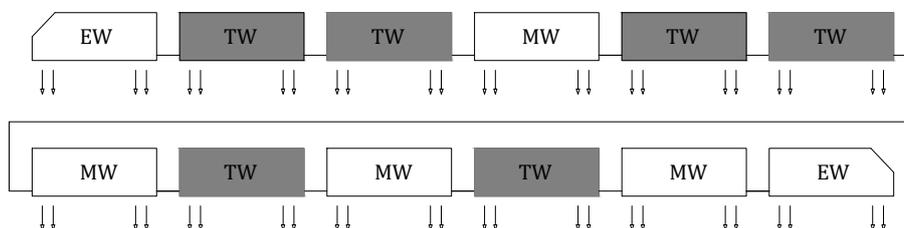


Abb. 3.5: Konfiguration ICE 4 12-Teiler gem. TU Datenbank

Tabelle 3.3 gibt einen Überblick der untersuchten Konfigurationen des ICE 4. Die dynamische Antwort der Brücke variiert in Abhängigkeit der Lastfolge (siehe *Kapitel 2*). So ist zu unterscheiden, ob sich der Zug vor- oder rückwärts bewegt, da bei asymmetrischer Aufteilung der Zuggarnitur verschiedene Achsabstände und auch Achslasten auftreten. *Normal* bedeutet, dass sich der Zug im Sinne des Entwicklers vorwärts bewegt. Diese Richtung ist in Abb. 3.4 bzw. 3.5 nach links zu verstehen.

Tab. 3.3: Konfigurationen des ICE 4

Zugbezeichnung	Konfiguration	Wagenanzahl	Länge [m]
ICE4-1 K1 7-Teiler	normal	7	194,30
ICE4-2 K1 7-Teiler	verkehrt	7	194,30
ICE4-3 K1 Doppeltraktion	K1-normal - K1-normal	14	395,63
ICE4-4 K1 Doppeltraktion	K1-normal - K1-verkehrt	14	395,63
ICE4-5 K1 Doppeltraktion	K1-verkehrt - K1-normal	14	395,63
ICE4-6 K1 Doppeltraktion	K1-verkehrt - K1-verkehrt	14	395,63
ICE4-7 K3 12-Teiler	normal	12	338,05
ICE4-8 K3 12-Teiler	verkehrt	12	338,05

3.2.2 Konfigurationen des Railjet

Der ÖBB Railjet wird, wie der ICE 4, für den Fernverkehr eingesetzt. Die Standardkonfiguration des Railjets sieht eine siebenteilige Abfolge von Wägen vor. Das Antriebskonzept basiert auf Lokomotiven, wodurch sich eine zulässige Höchstgeschwindigkeit, gemäß der *Richtlinie zur dynamischen Berechnung von Eisenbahnbrücken* der ÖBB Infrastruktur [1], von bis zu 230 km/h ergibt.

In Abb. 3.6 ist die Standardkonfiguration des ÖBB Railjets dargestellt. Grau hinterlegte Wägen sind Antriebswägen - hier wird der gesamte Zug durch die Lokomotive angetrieben. Es kommen zwei verschiedene Taurus-Loks zum Einsatz. Diese unterscheiden sich in Bezug auf deren Abmessungen. Die in Abb. 3.6 enthaltenden Abkürzungen bedeuten:

- LOK ist die Lokomotive.
- St.W ist der Steuerwagen.
- Sp.W ist der Speisewagen.
- MW ist der Mittelwagen, wobei hier noch in weiterer Folge nach 1. und 2. Klasse unterschieden wird.
- EW bildet den Abschluss des Zuges, den Endwagen.

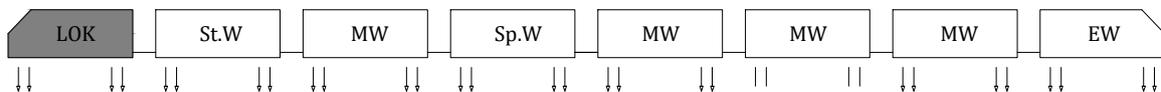


Abb. 3.6: Konfiguration Railjet gem. TU Datenbank

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden hier 16 verschiedene Abfolgen des Railjets untersucht, wobei die sieben Wägen *7W* (siehe Abb. 3.6) immer dieselbe Anordnung haben. Im Wesentlichen variiert also die Anordnung der Lokomotiven (grau hinterlegt). Die nachfolgende Tabelle 3.4 beinhaltet eine Auflistung der untersuchten Konfigurationen.

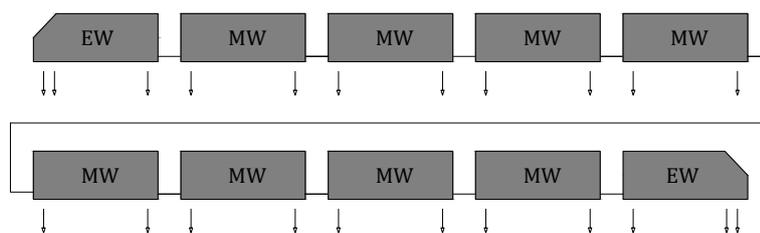
Tab. 3.4: Konfigurationen des Railjets

Zugbezeichnung	Konfiguration	Wagenanzahl	Länge [m]
Railjet A1 - LOK1	L - 7W - LL - 7W	17	423,50
Railjet A2 - LOK1	7W - LL - 7W	16	404,56
Railjet B1 - LOK1	LL - 7W - L - 7W	17	423,50
Railjet B2 - LOK1	L - 7W - L - 7W	16	404,22
Railjet C1 - LOK1	L - 7W - L - 7W - L	17	423,16
Railjet C2 - LOK1	7W - L - 7W - L	16	404,22
Railjet D1 - LOK1	LL - 7W - 7W - L	17	423,16
Railjet D2 - LOK1	L - 7W - 7W - L	16	403,88
Railjet E1 - LOK2	L - 7W - LL - 7W	17	424,25
Railjet E2 - LOK2	7W - LL - 7W	16	405,16
Railjet F1 - LOK2	LL - 7W - L - 7W	17	424,25
Railjet F2 - LOK2	L - 7W - L - 7W	16	404,67
Railjet G1 - LOK2	L - 7W - L - 7W - L	17	423,41
Railjet G2 - LOK2	7W - L - 7W - L	16	404,67
Railjet H1 - LOK2	LL - 7W - 7W - L	17	423,76
Railjet H2 - LOK2	L - 7W - 7W - L	16	404,18

3.2.3 Konfigurationen des EC 250

Die Standardkonfiguration des EC 250 sieht eine elfteilige Abfolge von Wägen vor. Das Antriebskonzept basiert auf der direkten Kraftübertragung an den Drehstellen - also konstant über die Zuglänge verteilt. Dadurch wird eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von bis zu 250 km/h erreicht. Aufgrund des kontinuierlichen Antriebs ist hier, analog zum ICE 4, ein vor- und rückwärtiges Fahren des Zuges möglich, ohne dabei die Garnitur zu verändern.

In Abb. 3.7 ist die Standardkonfiguration des EC 250 dargestellt. Hier wird nach Bauart zwischen Endwagen (EW) und Mittelwagen (MW) unterschieden. Da alle Wägen über das Jakobsdrehgestell angetrieben werden, sind in der Abbildung alle Wägen grau hinterlegt.

**Abb. 3.7:** Konfiguration EC 250 gem. TU Datenbank

In Tabelle 3.5 sind die verschiedenen Variationen des Typs EC 250 zu finden. Durch die fixe Garnitur des EC 250 ergeben sich insgesamt vier Kombinationen der Aneinanderreihung von zwei Standardkonfigurationen.

Tab. 3.5: Konfigurationen des EC 250

Zugbezeichnung	Konfiguration	Wagenanzahl	Länge [m]
EC 250 - Nr. 128	normal	11	193,60
EC 250 - Nr. 129	normal - normal	22	395,60
EC 250 - Nr. 130	normal - verkehrt	22	395,60
EC 250 - Nr. 131	verkehrt - normal	22	395,60
EC 250 - Nr. 132	verkehrt - verkehrt	22	395,60

3.3 Berechnungsansätze

In diesem Kapitel werden alternative Berechnungsansätze formuliert. Alle vorgestellten Ansätze beruhen auf der Grundlage des *moving load model* (MLM). Im Zuge der Aufstellung neuer Berechnungsmethoden werden lediglich die Eingangsparameter des Modells adaptiert, um die Ergebnisse der MLM Berechnung der DIM anzunähern. Des Weiteren soll ein eventuell erzeugbarer Profit der Berechnung nach DIM erörtert werden.

3.3.1 Ansatz 1 - Zusatzmasse 2000 kg/m

Gemäß der *Richtlinie zur dynamischen Berechnung von Eisenbahnbrücken* der ÖBB Infrastruktur [1] wird ein Berechnungsansatz formuliert, der eine Beaufschlagung des Brückentragwerks mit einer Zusatzmasse vorsieht. Hier wird auf einen Laufmeter Gleis, unabhängig zur Brückenmasse, eine Zusatzmasse von 2000 kg in Form einer Gleichlast angesetzt (siehe Abb. 3.8). Diese „verschmierte“ Zusatzmasse entspricht in etwa dem Mittelwert aller Zugmassen der HSLM-A-Lastbilder und wird daher als Zugmasse bezeichnet.

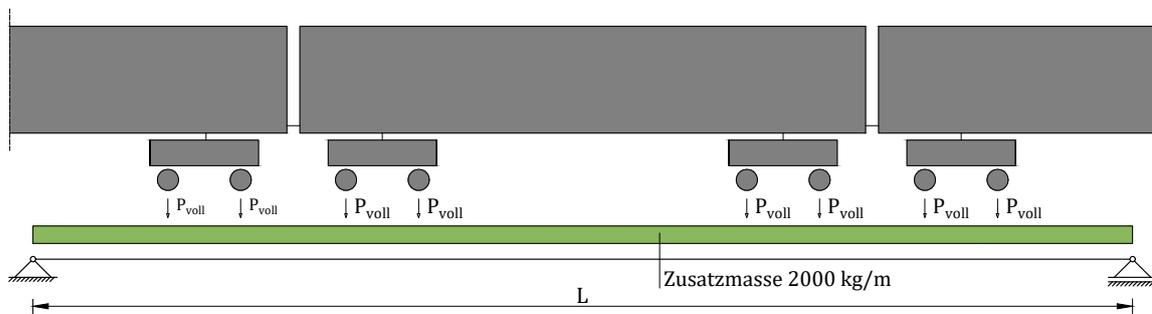


Abb. 3.8: Zusatzmasse 2000 kg/m gem. ÖBB [1]

In [1] werden für die dynamischen Berechnungen die Tragwerke nach folgender Einteilung eingestuft:

- **Kleine Tragwerke:** „die größte Einzelstützweite beträgt maximal 7,0 m und die niedrigste Biegeeigenfrequenz liegt über 1,5 Hz“
- **Mittlere Tragwerke:** „alle Tragwerke, die weder als kleine noch als große einzustufen sind“
- **Große Tragwerke:** „die kleinste Einzelstützweite beträgt mindestens 20,0 m“

In [1] ist die Zugsmasse in den dynamischen Berechnungen der **kleinen Tragwerke** nicht zu berücksichtigen. Der Einfluss der Zusatzmassen hätte enorme Frequenzverschiebungen zur Folge. Jene Tragwerke, die nach Definition in den Bereich der **mittleren Tragwerke** fallen, sind jeweils getrennt, mit Berücksichtigung der Zugsmasse und ohne Berücksichtigung der Zugsmasse, zu berechnen. Die Beaufschlagung der Zusatzmasse am Brückentragwerk führt im Allgemeinen zu niedrigeren Eigenfrequenzen (siehe Gl 3.1). Aufgrund der Abhängigkeit der Resonanzgeschwindigkeit zur Eigenfrequenz resultieren daraus niedrigere Resonanzgeschwindigkeiten (siehe Gl. 2.30). In weiterer Folge können daher eventuell auch mehrere Resonanzmaxima im betrachteten Geschwindigkeitsbereich auftreten.

Im zweiten Fall, ohne Berücksichtigung der Zusatzmasse, ergeben sich größere Extremwerte für den Resonanzfall. Jedoch ist auch die Resonanzgeschwindigkeit höher, was dazu führen kann, dass diese außerhalb des betrachteten Geschwindigkeitsbereiches liegen könnte. Für **große Tragwerke** ist die Zusatzmasse in den dynamischen Berechnungen generell zu berücksichtigen.

In [1] wird explizit darauf hingewiesen, dass die Beaufschlagung der Zusatzmasse von 2000 kg/m noch keine zusätzliche Belastung des Tragwerks bedeutet - vorausgesetzt die Gravitationsbeschleunigung wird nicht berücksichtigt.

3.3.2 Ansatz 2 - Zusatzmasse aus den Radsatzmassen

Dieser Ansatz wurde in der Diplomarbeit von Andreas Stollwitzer am Institut für Tragkonstruktion, Forschungsbereich Stahlbau, abgeleitet [4]. Hier werden die Radsatzmassen über die Zuglänge aufsummiert und anschließend auf die gesamte Zuglänge konstant verteilt. Nach [4] liegt dem Ansatz eine kinematische Zwangsbedingung des Mehrkörpersystems zugrunde. Es wird angenommen, dass die Radsätze mit der Brücke mitschwingen. Auch hier stellt die Zusatzmasse, wie im Ansatz 1, keine zusätzliche Belastung des Tragwerks dar.

In Abb. 3.9 ist das Brückentragwerk mit verschmierten Radsatzmassen und unveränderten Achslasten dargestellt. Die Zusatzlast Δm ist aufgrund des geringen Gewichtes der Radsätze kleiner als im Ansatz 1 und wird nach Formel 3.3 folgendermaßen berechnet:

$$\Delta m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{L_{Zug}} \quad (3.3)$$

In Gl. 3.3 beginnt die Variable i bei der ersten Achse des Zuges und endet bei der letzten. Folglich werden die aufsummierten Massen auf die gesamte Zuglänge L_{Zug} bezogen.

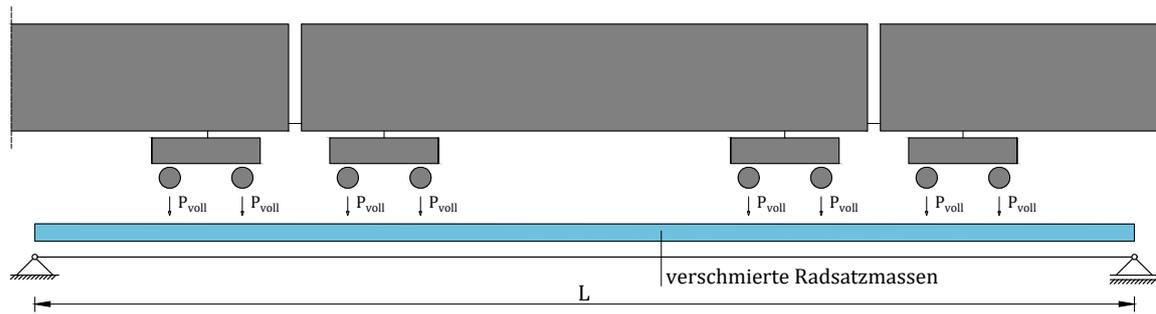


Abb. 3.9: Zusatzmasse aus verschmierter Radsatzlast gem. *Stollwitzer* [4]

3.3.3 Ansatz 3 - Zusatzmasse aus den Radsatzmassen und reduzierte Achslasten

Hier wird nach [4] die verschmierte Radsatzmasse gleichbleibend zum Ansatz 2 der Brücke aufgeschlagen. Zusätzlich werden die Achslasten um die Gewichtskraft der Radsätze reduziert. Der Wert der reduzierten Achslast $P_{i,red}$ ergibt sich nach Gleichung (3.4) durch Reduktion der Achslast P_i mit der Gewichtskraft des Radsatzes f_{Ri} . In Abb. 3.10 ist dieser Lastfall dargestellt.

$$P_{i,red} = P_i - \underbrace{m_{Ri} \cdot 9,81}_{f_{Ri}} \quad (3.4)$$

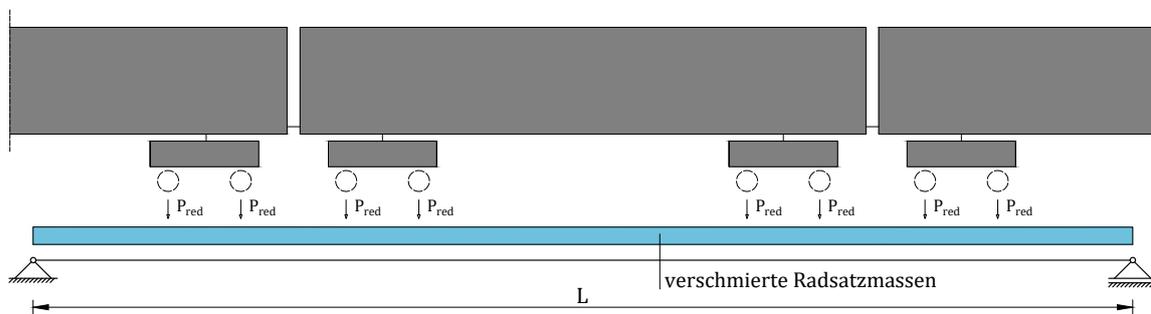


Abb. 3.10: Zusatzmasse aus verschmierter Radsatzlast und reduzierte Achslasten gem. *Stollwitzer* [4]

3.3.4 Ansatz 4 - Zusatzmasse aus den Radsatzmassen durch Energieäquivalenz

In diesem Ansatz wird die Zusatzmasse aus einer Äquivalenzbetrachtung der kinetischen Energie abgeleitet.

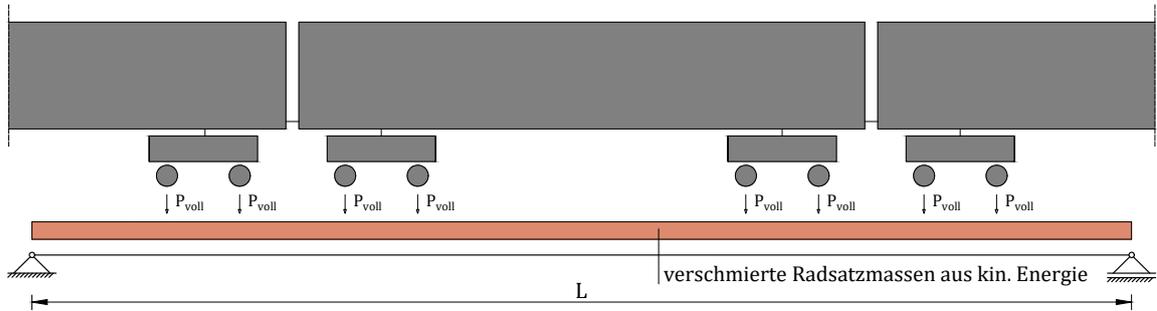


Abb. 3.11: Zusatzmasse aus verschmierter Radsatzlast

Um die konstante Gleichlast aus den Radsatzlasten ermitteln zu können, ist es notwendig, eine entsprechende Äquivalenzbedingung der kinetischen Energie herzuleiten. Die Grundannahme setzt sich daraus zusammen, dass die kinetische Energie am System der einzelnen Radsatzmassen (siehe Abb. 3.12) und am System der verschmierten Gleichlast (siehe Abb. 3.13) gleich groß ist.

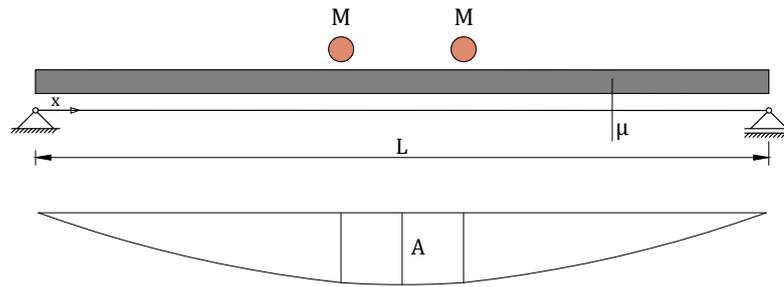


Abb. 3.12: Balken mit Punktlasten M

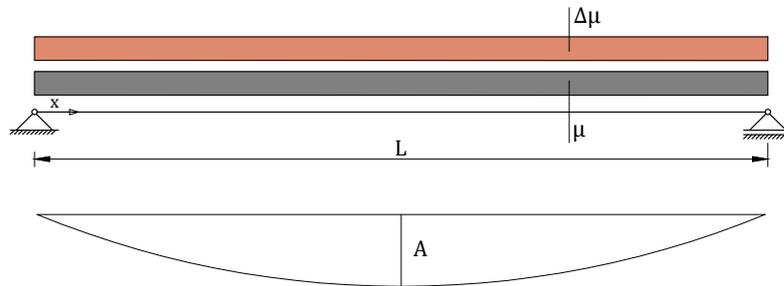


Abb. 3.13: Balken mit Gleichlast $\Delta\mu$ aus Äquivalenzbedingung

In Abb. 3.12 und 3.13 vorkommenden Variablen werden wie folgt bezeichnet:

L ist die Spannweite der Brücke in m .

M sind die Radsatzmassen in kg .

μ ist die längenbezogene Masse der Brücke kg/lfm .

$\Delta\mu$ ist die verschmierte Radsatzmasse aus der Äquivalenzbetrachtung in kg/lfm .

A ist der Wert der Durchbiegung in Feldmitte als Funktion der Zeit $w^*(x, t)$.

Die kinetische Energie am System der verschmierten Gleichlast in Abb. 3.13 lässt sich nach Ziegler [2, S. 461] durch folgende Formel (3.5) beschreiben:

$$T_{max} = \frac{1}{2} \int_0^L \dot{w}^{*2} \cdot [\mu + \Delta\mu] dx \quad (3.5)$$

Die Durchbiegung eines Balkens wird durch den Verlauf der Biegelinie beschrieben. Der Ritz'sche Ansatz für den Verlauf der Biegelinie $w^*(x, t)$ eines linear elastischen Balkens auf zwei Gelenkstutzen wird nach Gleichung (3.6) folgendermaßen angeschrieben:

$$w^*(x, t) = q(t) \cdot \varphi(x), \quad \varphi(x) = \sin \frac{\pi x}{L} \quad (3.6)$$

In Gl. (3.6) sind $q(t)$ die generalisierten Lagekoordinaten, $\varphi(x)$ bezeichnet die gewählte Ansatzfunktion der Biegelinie.

Da in Gl. (3.5) die zweite Potenz der Ableitung der Biegelinie $w^*(x, t)$ vorkommt, gilt nach Gl. (3.7) und Gl. (3.8):

$$\dot{w}^*(x, t) = \dot{q}(t) \cdot \varphi(x) \quad (3.7)$$

$$\dot{w}^{*2}(x, t) = \dot{q}^2(t) \cdot \varphi^2(x) \quad (3.8)$$

Durch das Einsetzen von Gl. (3.8) in Gl. (3.5) ergibt sich:

$$T_{max} = \frac{1}{2} \int_0^L \dot{q}^2(t) \cdot \varphi^2(x) \cdot [\mu + \Delta\mu] dx \quad (3.9)$$

Das Einsetzen der Ansatzfunktion $\varphi(x)$ aus Gl. (3.6) in Gl. (3.9) ergibt:

$$T_{max} = \frac{1}{2} \int_0^L \dot{q}^2(t) \cdot \left(\sin \frac{\pi x}{L} \right)^2 \cdot [\mu + \Delta\mu] dx \quad (3.10)$$

Das Auflösen des Integrals aus Gl. (3.10) führt zu:

$$T_{max} = \frac{x}{2} - \frac{L \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right)}{2\pi} \Bigg|_{x=L} - \left[-\frac{x}{2} + \frac{L \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right)}{2\pi} \right] \Bigg|_{x=0} \cdot \frac{1}{2} \cdot \dot{q}^2(t) \cdot [\mu + \Delta\mu] \quad (3.11)$$

Ausgewertet über die Integralgrenzen $x = L$ und $x = 0$ aus Gl. (3.11) ergibt sich für die kinetische Energie des Biegebalkens mit konstanter Gleichlast (siehe Abb. 3.13):

$$T_{max} = \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \dot{q}^2(t) \cdot [\mu + \Delta\mu] \quad (3.12)$$

Die kinetische Energie am System der Radsatzmassen wird zunächst mit einem einzelnen Radsatz in Brückenmitte (siehe Abb. 3.14) hergeleitet.

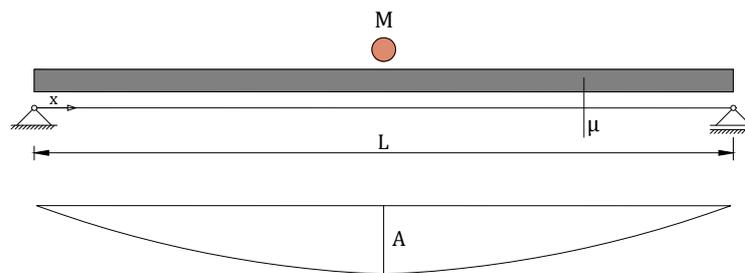


Abb. 3.14: Balken mit Punktlast M

Nach [2] wird die kinetische Energie eines massebehafteten Balkens durch folgende Formel (3.13) beschrieben:

$$T_{max} = \frac{1}{2} \cdot M \cdot \dot{q}^2(t) + \frac{1}{2} \int_0^L \dot{w}^{*2} \cdot \mu dx \quad (3.13)$$

Durch das Auflösen des Integrals nach $x = L$ und $x = 0$, analog zu Gl. (3.11) ergibt sich der Ausdruck für die kinetische Energie des in Abb. 3.12 dargestellten Systems mit mehreren Punktlasten, unter der Bedingung, dass die Durchbiegung $w^*(x, t)$ in Brückenmitte ident ist:

$$T_{max} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M \cdot \left(\sin \frac{\pi x}{L} \right)^2 \cdot \dot{q}^2(t) + \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \dot{q}^2(t) \cdot \mu \quad (3.14)$$

Die Äquivalenzbetrachtung sieht vor, dass die kinetische Energie des Systems der konstanten Gleichlast (aus Abb. 3.13) und des Systems der Einzellasten (aus Abb. 3.12) gleich groß ist.

Somit werden die Gleichungen (3.12) und (3.14) gleichgesetzt:

$$\frac{L}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \dot{q}^2(t) \cdot [\mu + \Delta\mu] = \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \dot{q}^2(t) \cdot \mu + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M \cdot \sin \frac{\pi x_i}{L} \cdot \dot{q}^2(t) \quad (3.15)$$

Das Kürzen der doppelt vorkommenden Terme in Gl. (3.15) führt zur gesuchten Gleichlast $\Delta\mu$:

$$\Delta\mu = 2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n M \cdot \left(\sin \frac{\pi x_i}{L}\right)^2}{L} \quad (3.16)$$

Durch Gleichung (3.16) kann die verschmierte Zusatzmasse ermittelt werden. Da in einer Zuggarnitur nicht alle Radsatzmassen gleich groß sind, wird die Masse der Radsätze M über die gesamte Zuglänge (in Gl. (3.17) ersichtlich) gemittelt. Somit wird vereinfachend eine konstante Radsatzmasse M zur Ermittlung der verschmierten Zusatzmasse $\Delta\mu$ betrachtet.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} \quad (3.17)$$

Wie in Gl. (3.16) ersichtlich, fließt die Stellung der Radsätze x_i entlang der Brücke in die Berechnungen ein. Daher werden zunächst mögliche Anordnungen der Radsätze auf den verschiedenen Brückentragwerken untersucht. Jene Radsatzstellung, die zu der größten Zusatzmasse führt, wird in weiterer Berechnung der Brücke aufgeschlagen.

Folgende Radsatzstellungen wurden untersucht, die Bedeutung der vorkommenden Variablen gliedert sich nach Abb. 2.3 zu:

L ist die Brückenlänge.

x_r ist der Abstand der Radsätze.

$x_{K,v}$ ist der Abstand Radsatz zur Kupplung vorne.

$x_{K,h}$ ist der Abstand Radsatz zur Kupplung hinten.

x_D ist der Abstand zwischen den Drehgestellachsen.

x_m ist der Mittelwert aus den Radsatzabständen zur vorderen und hinteren Kupplung ($x_{K,v}$, $x_{K,h}$).

Die strichlierte Linie in den folgenden Grafiken kennzeichnet die Tragwerksmitte.

a) **Ein Radsatz in Brückenmitte**

Der obere Grenzwert der Brückenlänge darf den folgenden Wert nicht überschreiten:

$$L \leq 2 \cdot x_r \quad (3.18)$$

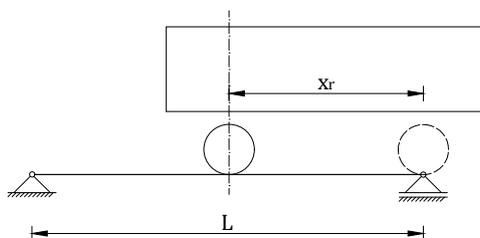


Abb. 3.15: Ein Radsatz in Brückenmitte

b) **Zwei Radsätze auf der Brücke (mittige Ausrichtung)**

Der untere Grenzwert der Brückenlänge ist in Gleichung 3.19 festgelegt:

$$L > x_r \quad (3.19)$$

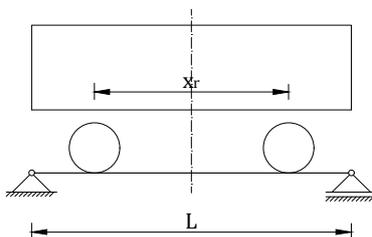


Abb. 3.16: Zwei Radsätze auf der Brücke, untere Grenze

Der obere Grenzwert der Brückenlänge ist in Gleichung 3.20 festgelegt:

$$L \leq \left(\frac{x_r}{2} + x_{K,h} + x_{K,v} \right) \cdot 2 \quad (3.20)$$

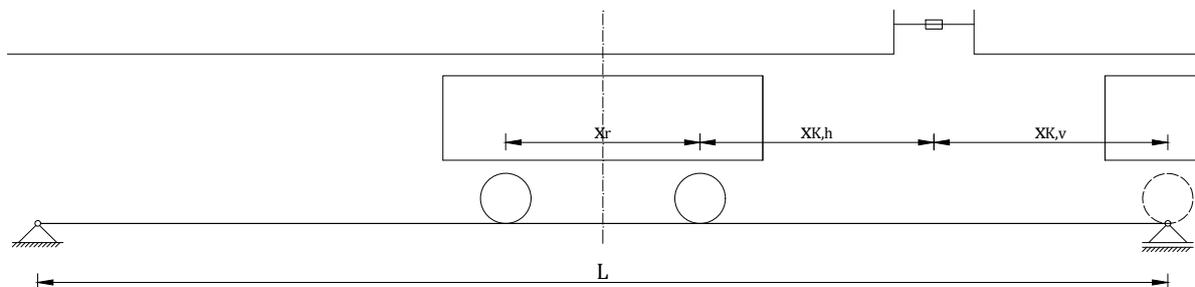


Abb. 3.17: Zwei Radsätze auf der Brücke, obere Grenze

c) **Zwei Radsätze auf der Brücke (ein Radsatz in Brückenmitte)**

Der untere Grenzwert der Brückenlänge ist in Gleichung 3.21 festgelegt:

$$L > 2 \cdot x_r \quad (3.21)$$

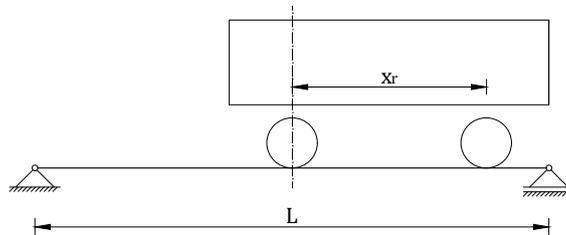


Abb. 3.18: Zwei Radsätze auf der Brücke, untere Grenze

Der obere Grenzwert der Brückenlänge ist in Gleichung 3.22 festgelegt:

$$L \leq (x_r + x_{K,h} + x_{K,v}) \cdot 2 \quad (3.22)$$

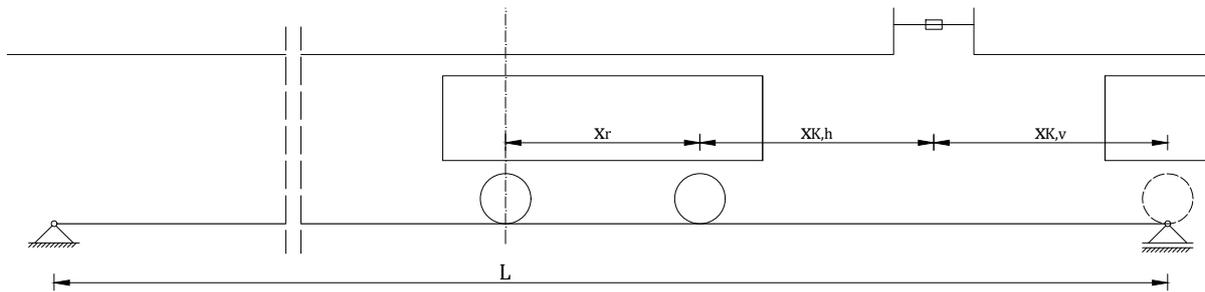


Abb. 3.19: Zwei Radsätze auf der Brücke, obere Grenze

d) **Drei Radsätze auf der Brücke (ein Radsatz in Brückenmitte)**

Der untere Grenzwert der Brückenlänge ist in Gleichung 3.25 festgelegt:

$$L > (x_r + x_{K,h} + x_{K,v}) \cdot 2 \quad (3.23)$$

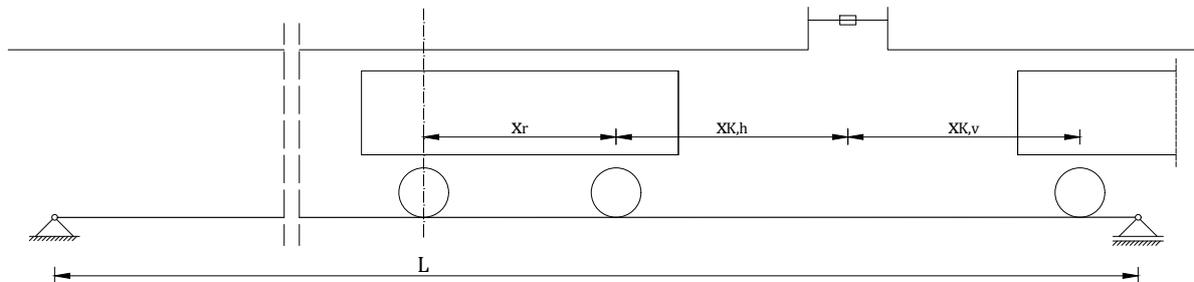


Abb. 3.20: Drei Radsätze auf der Brücke, untere Grenze

Der obere Grenzwert der Brückenlänge ist in Gleichung 3.24 festgelegt:

$$L \leq (x_{r,i} + x_{K,h} + x_{K,v} + x_{r,i}) \cdot 2 \quad (3.24)$$

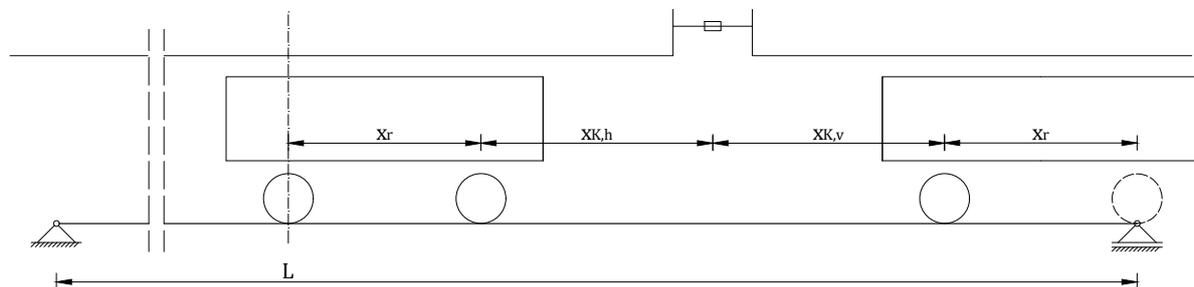


Abb. 3.21: Drei Radsätze auf der Brücke, obere Grenze

e) Vier Radsätze auf der Brücke

Der untere Grenzwert der Brückenlänge ist in Gleichung 3.25 festgelegt:

$$L > \left(x_{r,max} + \frac{x_{K,h} + x_{K,v}}{2} \right) \cdot 2 \quad (3.25)$$

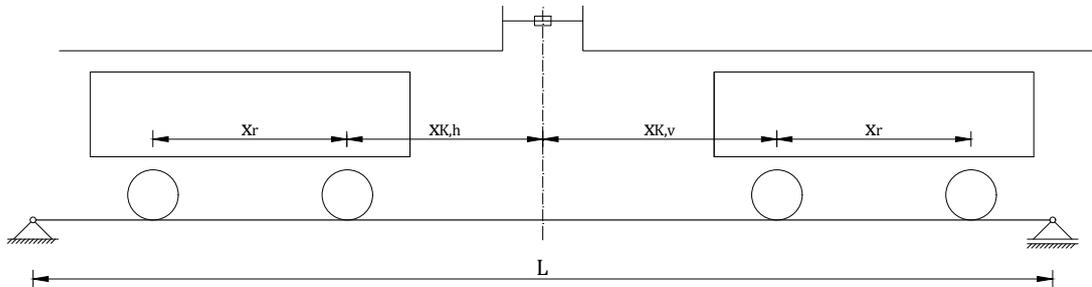


Abb. 3.22: Vier Radsätze auf der Brücke, untere Grenze

Der obere Grenzwert der Brückenlänge ist in Gleichung 3.26 festgelegt:

$$L \leq \left(x_{D,min} + x_r(x_{D,min}) + \frac{x_{K,h} + x_{K,v}}{2} \right) \cdot 2 \quad (3.26)$$

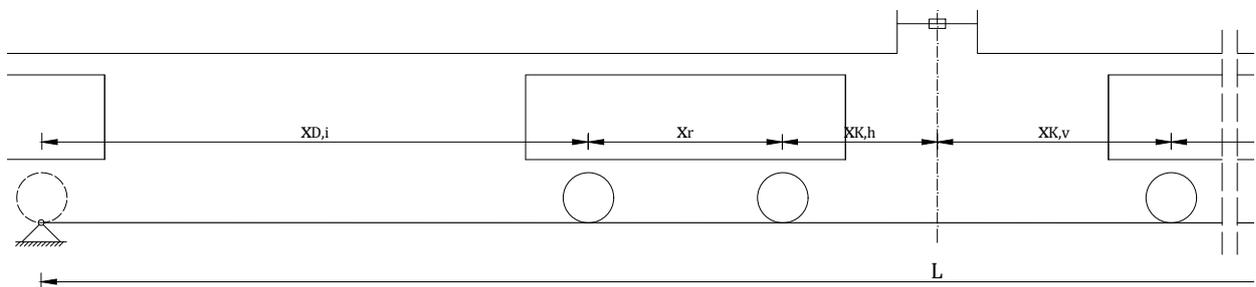


Abb. 3.23: Vier Radsätze auf der Brücke, obere Grenze

Der Abstand des ersten Radsatzes von der Brückenmitte setzt sich aus dem Mittelwert des hinteren und vorderen Kupplungsabstandes zum Radsatz zusammen. In Gleichung 3.27 ist diese Formel dargestellt - in Abb. 3.24 ist dieses Maß am Brückentragwerk dargestellt.

$$x_{k,m} = \frac{x_{K,h} + x_{K,v}}{2} \quad (3.27)$$

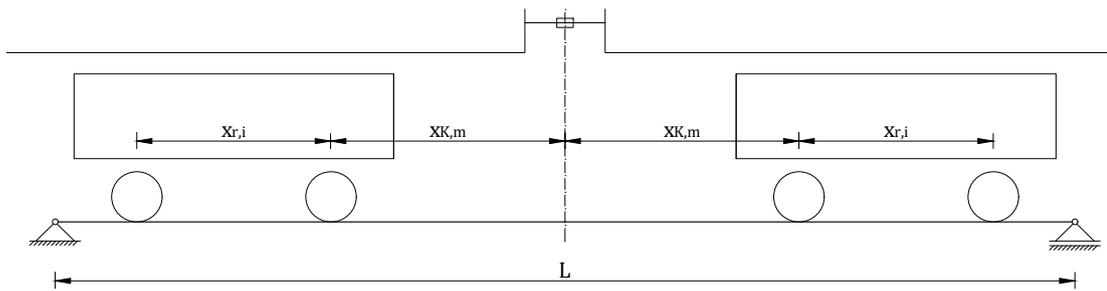


Abb. 3.24: Vier Radsätze auf der Brücke, mittige Anordnung

3.3.5 Ansatz 5 - Zusatzmasse aus den Radsatzlasten durch Energieäquivalenz und reduzierte Achslasten

Bei diesem Ansatz erfolgt, analog zum vorherigen Ansatz 4, die Berechnung der verschmierten Radsatzmasse durch Aufstellen der Energieäquivalenz. Im nächsten Schritt werden die Achslasten durch den ungedehnten Anteil der Radsatzmassen, gleichermaßen zum Ansatz 3, abgemindert. In der Gl. (3.28) ist die Berechnung der reduzierten Achslasten ersichtlich. Hier wird jeweils der gemittelte Wert der Radsatzmassen M aus Gl. (3.17) abgezogen. In Abbildung 3.25 ist dieser Lastfall ersichtlich.

$$P_{i,red} = P_i - \underbrace{M \cdot 9,81}_{f_R} \quad (3.28)$$

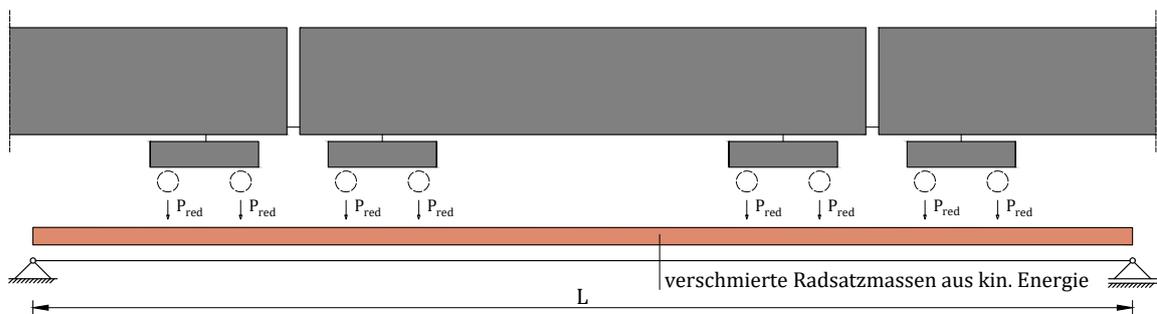


Abb. 3.25: Zusatzmasse aus verschmierter Radsatzlast und reduzierte Radsatzmassen

Kapitel 4

Ergebnisauswertung

Dieses Kapitel dient der Berechnung und Auswertung der Zugfahrten über Brückentragwerke. Ziel der Arbeit ist es, die Abweichungen der Vertikalbeschleunigung in den Geschwindigkeitsverläufen der Berechnungsansätze sichtbar zu machen. Dafür werden die Geschwindigkeitsverläufe der Vertikalbeschleunigungen des *detailed interaction model* (DIM) und *moving load model* (MLM) aus *Kapitel 2.2 bzw. 3.3* entlang eines definierten Geschwindigkeitsbereiches untersucht. Hier wird durch die Erfassung der kritischen Geschwindigkeit ausschlaggebend, welcher Spitzenwert der Beschleunigung in die Auswertung einfließt.

Um den Ablauf nachvollziehen zu können, wird die Auswertung im Laufe des Kapitels anhand einer Zugkonfiguration exemplarisch dargestellt.

4.1 Darstellung des Geschwindigkeitsverlaufs

Im Programm *Matlab* werden die Zugfahrten über jedes Tragwerk mit jedem der formulierten Berechnungsansätze simuliert. Die Antwort des Tragwerks wird in Form eines Geschwindigkeitsverlaufs der Vertikalbeschleunigung in Brückenmitte ausgegeben. Exemplarisch wird die Überfahrt am ersten Tragwerk dargestellt. Dabei werden pro Überfahrt drei Abbildungen erstellt, die sich folgendermaßen gliedern und in Abb. 4.1 - 4.6 sichtbar sind:

- **obere Abbildung:**

Hier ist der Geschwindigkeitsverlauf der Vertikalbeschleunigung in Brückenmitte des *moving load models* (MLM) (gemäß aktuellem Berechnungsansatz, siehe *Kapitel 1.2.1 bzw. Kapitel 3.3*) dargestellt. Als Eingangsparameter wurde der Wert der Tragwerksdämpfung mit $\zeta_{Norm} + \Delta\zeta$ festgelegt. In der Berechnung wurden die ersten drei Eigenformen des Brückentragwerks berücksichtigt. Jede weitere Eigenform hätte nach *Treder* [5] nur einen geringen Einfluss auf den Verlauf der Beschleunigung. Diese Abbildung beinhaltet alle 29 Zugkonfigurationen aus *Kapitel 3.2*. Für jeden der drei Zugtypen (ICE 4, Railjet und EC 250) wird die maximale Beschleunigung mit dem zugehörigen Wert der Überfahrtschwindigkeit angegeben.

- **mittlere Abbildung:**

Diese ist in gleicher Weise zur oberen Abbildung zu lesen. Hier unterscheidet sich nur das Berechnungsmodell. Die Überfahrten der mittleren Abbildung wurden mit dem *detailed interaction model* (DIM) berechnet. Als Eingangsgröße der Tragwerksdämpfung wurde hier den Berechnungen der Wert der Normdämpfung ζ_{Norm} zugrunde gelegt.

- **untere Abbildung:**

Die untere Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung der Verläufe aus den oberen beiden Abbildungen. Hier wurden jene Züge gewählt, die den maximalen Wert der Vertikalbeschleunigung des jeweiligen Ansatzes erzielten. Somit kann direkt abgelesen werden, ob die Berechnung des *detailed interaction model* (DIM) einen Nutzen im Sinne der Minimierung der Antwort des Tragwerks erzielt. Weiters ist auch von Interesse, ob die Berechnung nach MLM (bzw. des aktuellen Ansatzes) möglichst nahe an der DIM Berechnungen liegt.

- **Geschwindigkeitsbereich:**

Gemäß der *Richtlinie zur dynamischen Berechnung von Eisenbahnbrücken* der ÖBB Infrastruktur [1] werden für den zu untersuchenden Geschwindigkeitsbereich sowohl Obergrenzen, als auch Untergrenzen definiert. Die obere Grenze wird durch die 1,2-fache Streckenhöchstgeschwindigkeit vorgegeben. Die Höchstgeschwindigkeit der Westbahnstrecke beträgt 250 km/h. Multipliziert mit dem Faktor 1,2 ergibt sich ein zu betrachtender Geschwindigkeitsbereich von 300 km/h. Als untere Grenze wurde die halbe obere Geschwindigkeitsgrenze festgelegt. Diese wird zudem mit 144 km/h nach oben begrenzt. Weiters wird die untere Grenze durch die 0,6-fache zulässige Fahrzeughöchstgeschwindigkeit des langsamsten Betriebszuges begrenzt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Geschwindigkeitsbereich von 100 - 300 km/h untersucht. Der Berechnung liegt eine Schrittweite von 1 km/h zugrunde. Im Zuge der Auswertung stellte sich jedoch heraus, dass die Resonanzgeschwindigkeiten der einzelnen Berechnungsansätze voneinander abweichen. Um sicherstellen zu können, dass der Spitzenwert eines Resonanzphänomens in die Auswertung eingeht, wurde die Abszisse auf bis zu 350 km/h verlängert.

Die nachfolgenden Abbildungen 4.1 - 4.6 stellen die Berechnung der Überfahrten aller Zugtypen am ersten Tragwerk, in Form des Geschwindigkeitsverlaufes der Vertikalbeschleunigung dar. Ausgewertet werden die größten Spitzen der Vertikalbeschleunigung im Geschwindigkeitsbereich von bis zu 350 km/h, die einem Resonanzphänomen zuzuordnen sind. Dafür wurden zuerst die kritischen Überfahrgeschwindigkeiten berechnet und anschließend visuell den Geschwindigkeitsverläufen zugeordnet. Zur Nachvollziehbarkeit der Auswertung werden im nächsten Unterkapitel die Schritte anhand der Überfahrt einer Railjet Konfiguration exemplarisch erarbeitet.

Tragwerk 1: max. Beschleunigung in Brückenmitte – MLM

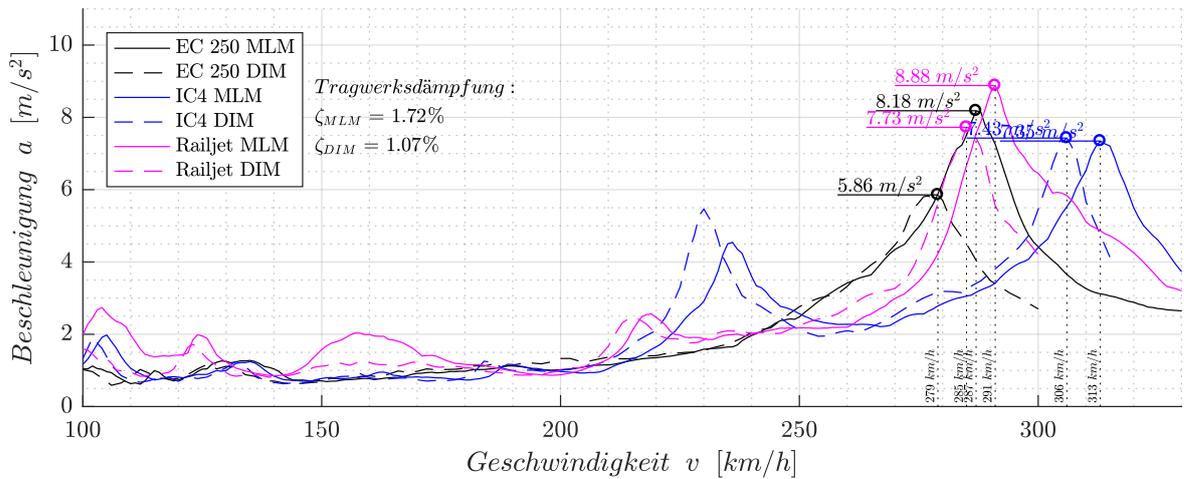
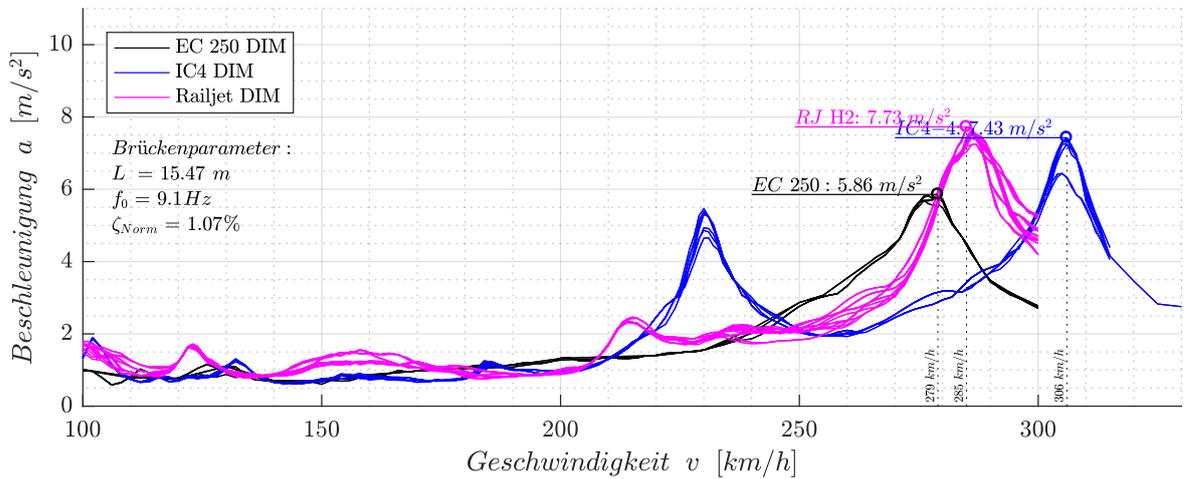
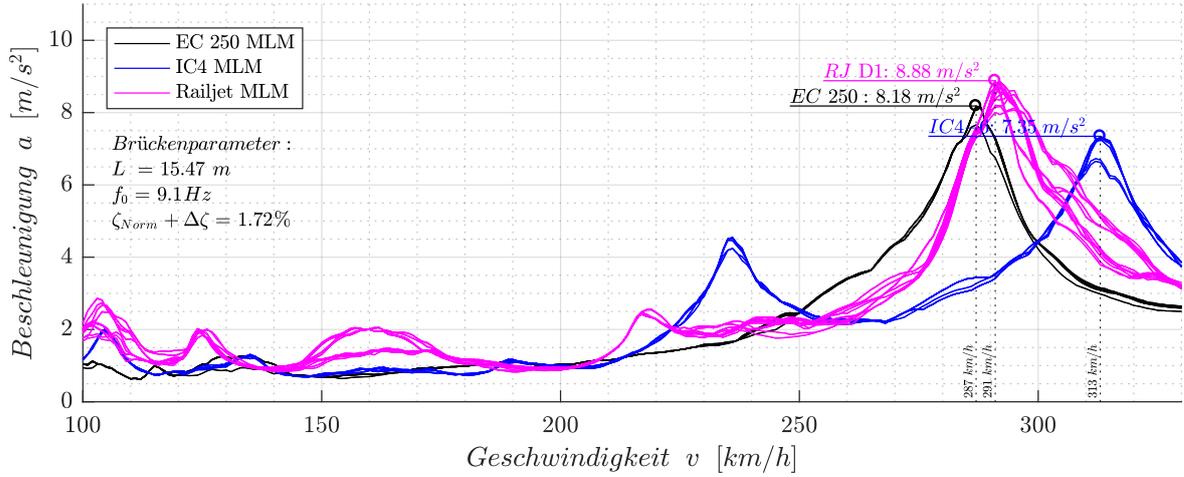


Abb. 4.1: Beschleunigungsverlauf nach MLM

Tragwerk 1: max. Beschleunigung in Brückenmitte – Ansatz 1

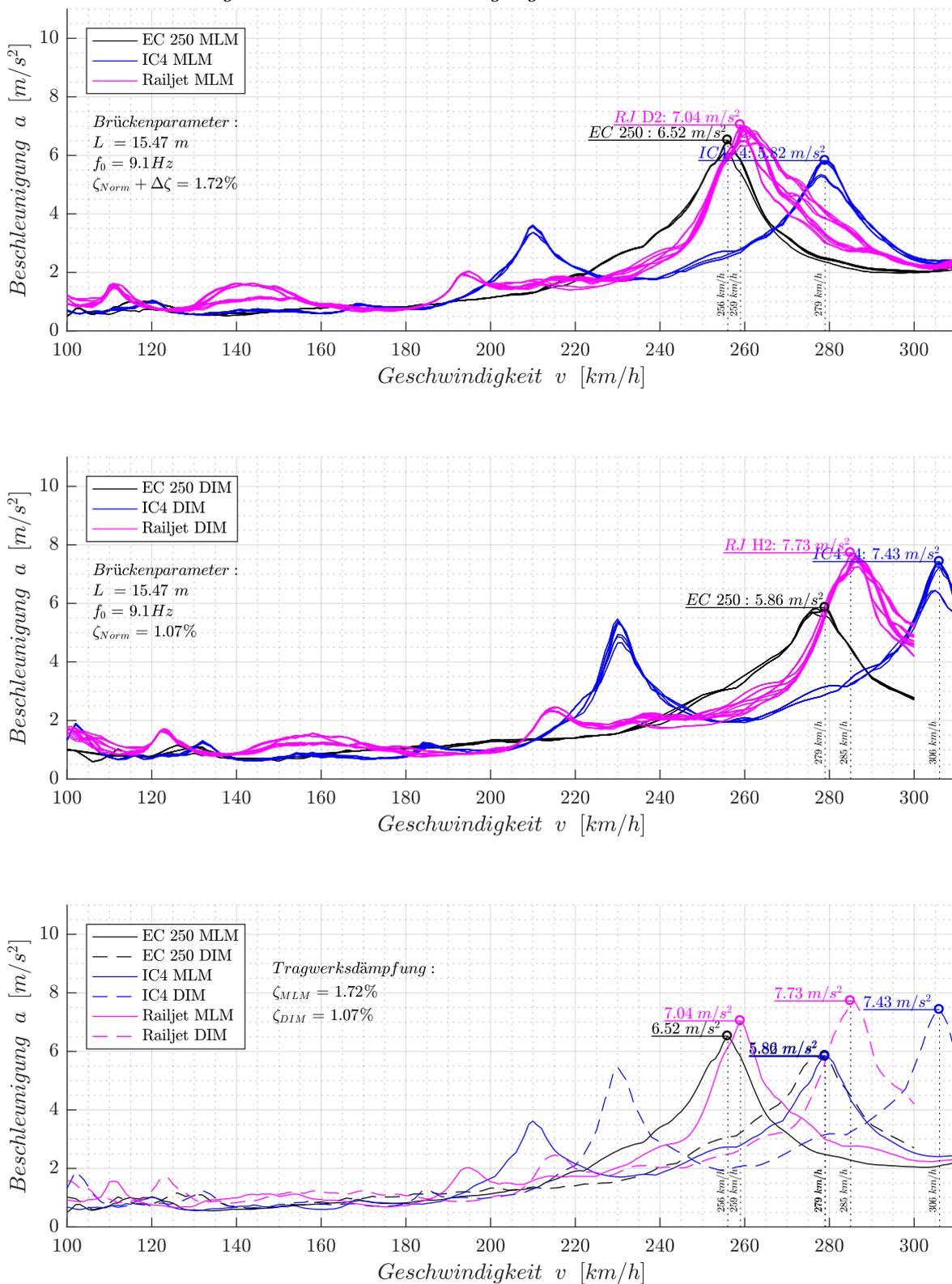


Abb. 4.2: Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 1

Tragwerk 1: max. Beschleunigung in Brückenmitte – Ansatz 2

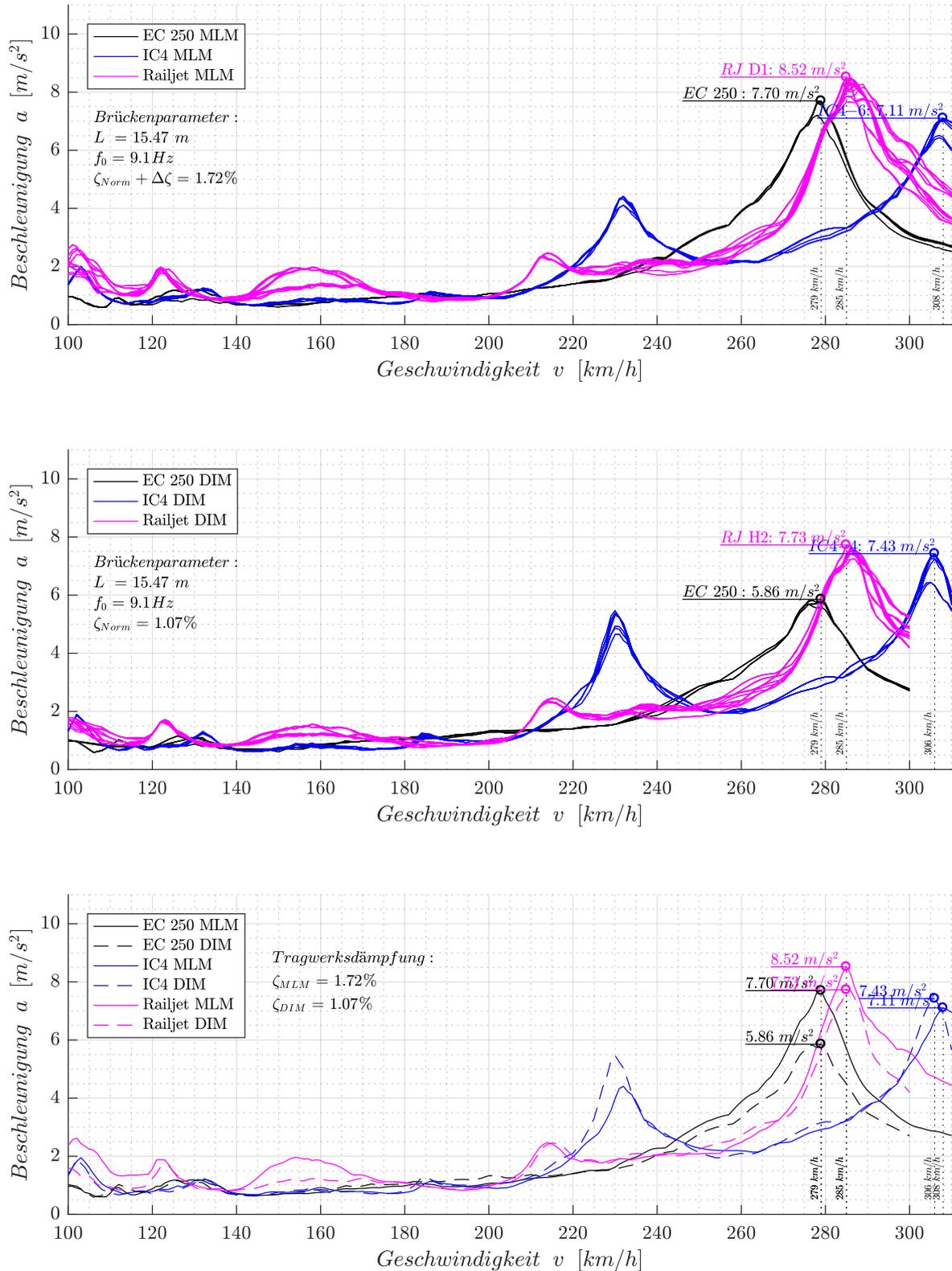


Abb. 4.3: Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 2

Tragwerk 1: max. Beschleunigung in Brückenmitte – Ansatz 3

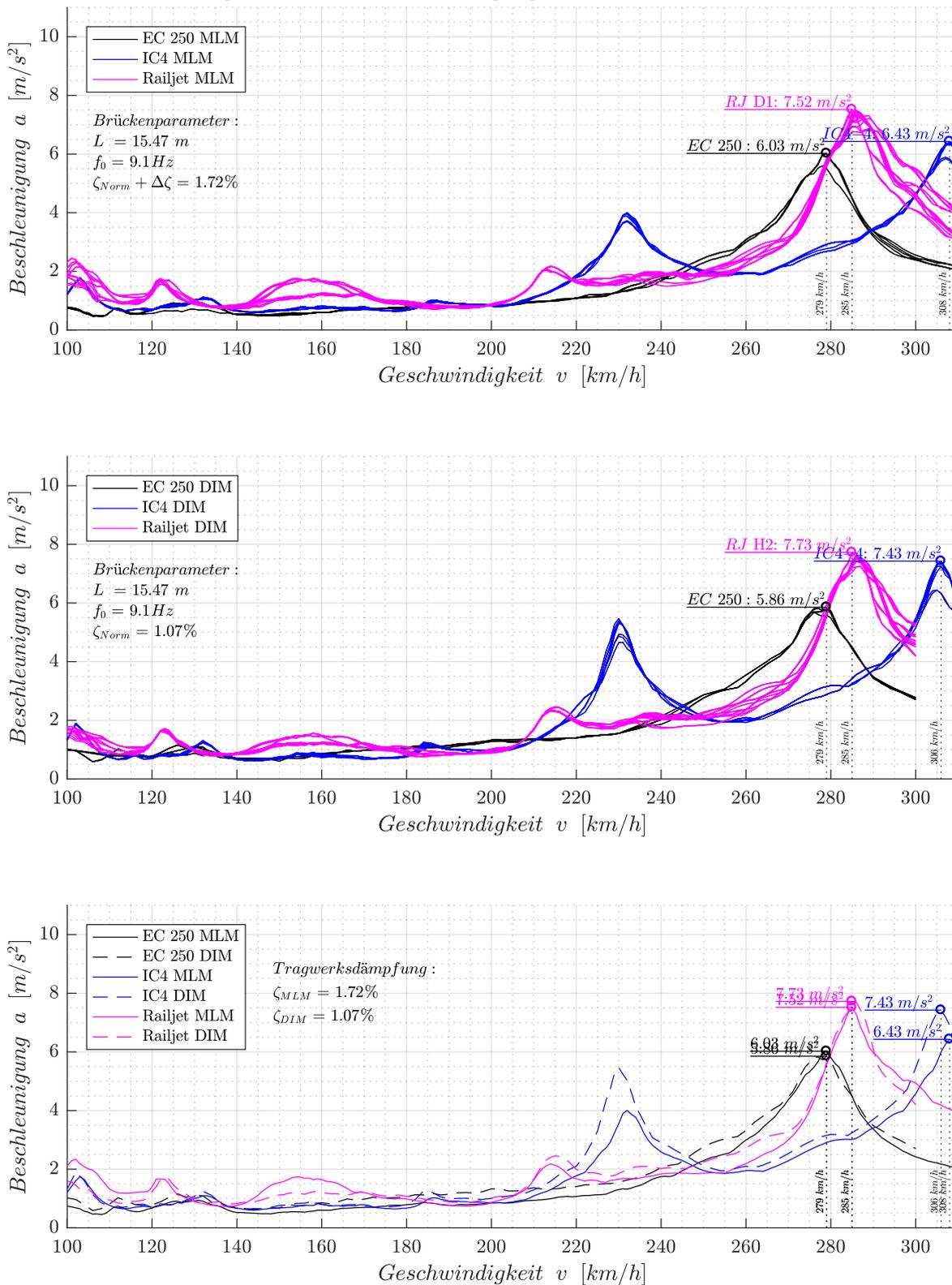


Abb. 4.4: Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 3

Tragwerk 1: max. Beschleunigung in Brückenmitte – Ansatz 4

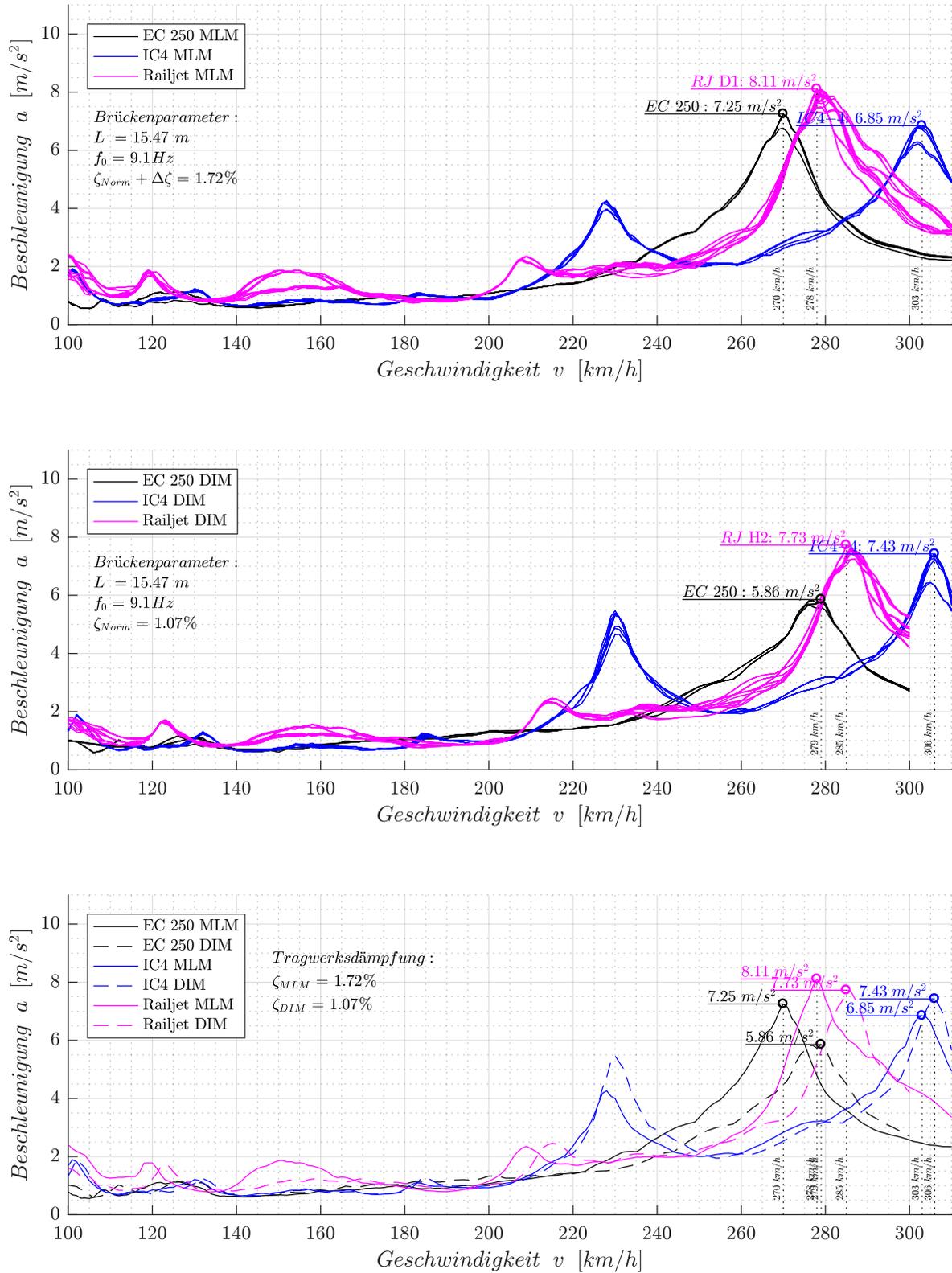


Abb. 4.5: Beschleunungsverlauf nach MLM - Ansatz 4

Tragwerk 1: max. Beschleunigung in Brückenmitte – Ansatz 5

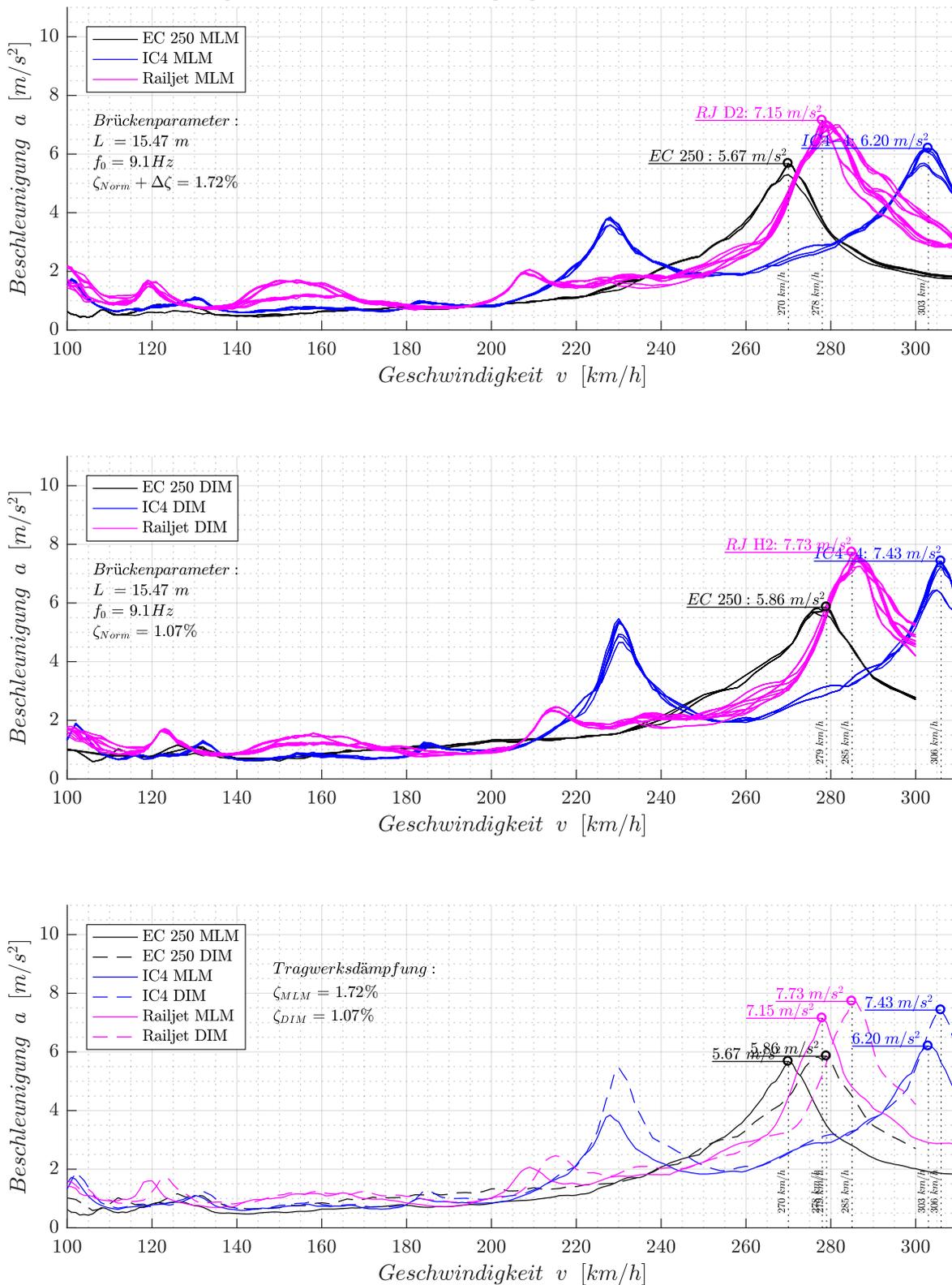


Abb. 4.6: Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 5

4.2 Erfassung der kritischen Geschwindigkeit

Um die Beschleunigungsspitzen des Verlaufs der berechneten Überfahrten einem Resonanzphänomen zuordnen zu können, müssen vorerst die kritischen Geschwindigkeiten berechnet werden. Anhand dieser kann anschließend festgestellt werden, welcher Wagen eines Zuges in Korrelation mit der Antwort des Tragwerks steht.

Im *Kapitel 2* wurde die Gleichung für die kritische Überfahrgeschwindigkeit aufgestellt (Gl. 2.30). Hier fließen der äquidistante Lastabstand d und die Eigenfrequenz der Brücke f_0 in Abhängigkeit der ganzzahligen Laufvariable k ein. Im Zuge der Auswertung hat sich herausgestellt, dass für alle Tragwerke der äquidistante Lastabstand d als Wagenlänge d_w (siehe Abb. 2.5) für das Resonanzmaximum ausschlaggebend war. Folglich wird auch nur diese in der Arbeit erfasst.

In Tab. 4.1 sind die Abmessungen der jeweiligen Wagenlängen d_w ersichtlich. MW ist das Kurzzeichen der Mittelwägen.

Tab. 4.1: Wagenlänge d_w der drei Zugtypen

ICE 4	d_w [m]	Railjet	d_w [m]	EC 250	d_w [m]
MW	28,75	MW	26,5	MW	17,5

Anhand der Railjet Konfigurationen (aus Tab. 4.1) wird nun die kritische Überfahrgeschwindigkeit für die Überfahrten am ersten Brückentragwerks aus Tab. A.1 berechnet. Die kritische Überfahrgeschwindigkeit ergibt sich nach Gl. 4.1 - 4.3 zu:

$$v_{cr,RJ,1} = \frac{26,5 \cdot 9,10 \cdot 3,6}{1} = 868,14 \text{ km/h} \quad (4.1)$$

$$v_{cr,RJ,2} = \frac{26,5 \cdot 9,10 \cdot 3,6}{2} = 434,07 \text{ km/h} \quad (4.2)$$

$$v_{cr,RJ,3} = \frac{26,5 \cdot 9,10 \cdot 3,6}{3} = 289,38 \text{ km/h} \quad (4.3)$$

Nun kann visuell geprüft werden, bei welcher dieser Geschwindigkeiten eine Auslenkung der Vertikalbeschleunigung des *moving load models* (in Abb. 4.1) zu erkennen ist.

Da die Überfahrten bis maximal 350 km/h berechnet werden, wird in diesem Fall die kritische Überfahrtgeschwindigkeit des dritten Teilers maßgebend. Somit ergibt sich im Geschwindigkeitsbereich von etwa 289,38 km/h die maximale Auslenkung der Vertikalbeschleunigung.

Nach diesem Schema wurden in weiterer Folge die kritischen Überfahrgeschwindigkeiten der drei Zugtypen aus *Kapitel 3.2* ermittelt und mithilfe der visuellen Prüfung allen 75 Brückentragwerken zugeordnet.

Im Anhang sind in Tab. A.30 die ausschlaggebenden kritischen Geschwindigkeiten der drei Zugtypen, nach Brückentragwerken geordnet, angegeben. Hier wurden jene kritischen Geschwindigkeiten im Geschwindigkeitsbereich von 350 km/h ausgewertet, die die maximale Vertikalbeschleunigung am Tragwerk erzeugen. Aufgrund der unterschiedlichen Brückenlängen ist hier nicht immer derselbe natürliche Teiler k , sondern ein Vielfaches davon, maßgebend.

Durch die Betrachtung des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs bei der Resonanzgeschwindigkeit (jene Geschwindigkeit, die die größte Vertikalbeschleunigung hervorruft) lässt sich veranschaulichen, welches Resonanzphänomen aus *Kapitel 2.3* bei der jeweiligen Überfahrt auftritt.

Veranschaulicht wird der zeitliche Beschleunigungsverlauf an der zuvor ermittelten kritischen Überfahrtschwindigkeit des Railjets - D1. Diese Zugkombination ergab nach Abb. 4.1 die größte Vertikalbeschleunigung aller Railjet Kombinationen nach MLM Berechnung. Gemäß Abb. 4.1 beträgt die Resonanzgeschwindigkeit des Railjet D1 291 km/h . Berechnet wurde die kritische Überfahrtschwindigkeit nach Gl. 4.3 zu $289,38 \text{ km/h}$.

In Abb. 4.7 kennzeichnet die vertikale strichlierte Linie den Zeitpunkt (5,43 s), an dem die letzte Achse des Zuges die Brücke verlassen hat. Nach diesem Zeitpunkt findet somit keine äußere Anregung am Tragwerk mehr statt. Die Brücke schwingt aus und kehrt folglich in die natürliche Ruhelage zurück. Mittels der punktierten Linie wird die maximale Vertikalbeschleunigung des Tragwerks markiert. Die Grafik lässt eindeutig erkennen, dass sich die Amplitude mit steigender Lastanzahl zum Maximum aufschaukelt. Dies ist auf die kontinuierliche Anregung der Achslasten zurückzuführen. Somit trifft bei dieser Überfahrt das zweite Resonanzphänomen (gem. *Kapitel 2.3*) zu.

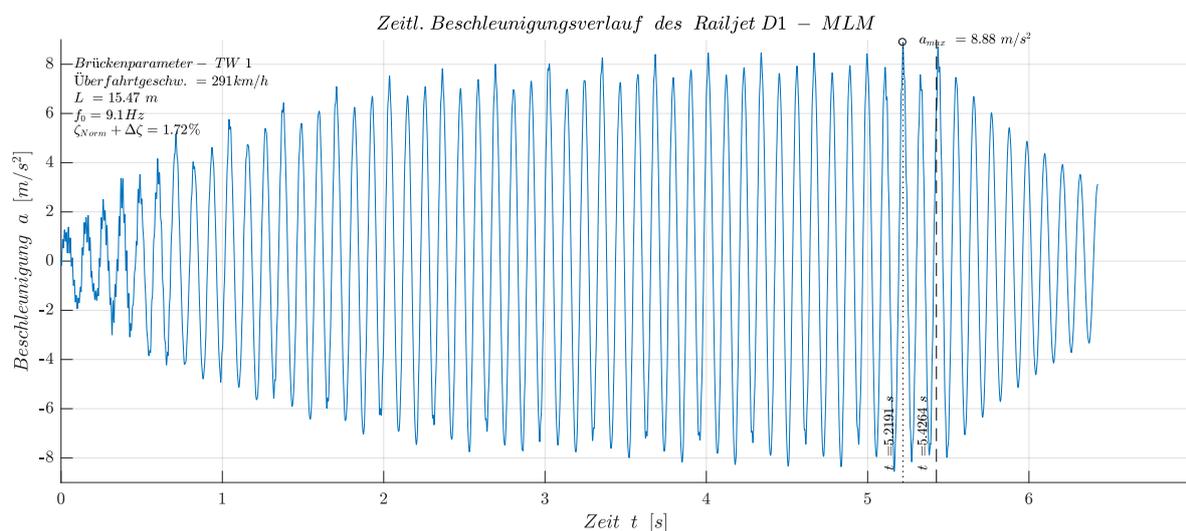


Abb. 4.7: Zeitlicher Beschleunigungsverlauf des Railjet D1

4.3 Auswertung der Berechnung

In diesem Unterpunkt werden die Geschwindigkeitsverläufe der Vertikalbeschleunigung des *moving load models* (inkl. aller formulierten Ansätze) dem *detailed interaction model* gegenübergestellt.

Veranschaulicht wird die Vorgehensweise an der Zugkonfiguration des Railjet D1. Die zuvor erstellten Geschwindigkeitsverläufe der Vertikalbeschleunigung, Abb. 4.1 - 4.6 werden zunächst für den Railjet D1 auf den Bereich der kritischen Überfahrgeschwindigkeit skaliert. Somit kann eine übersichtlichere Darstellung erreicht werden. Abbildung 4.8 stellt die maximalen Auslenkungen der Vertikalbeschleunigung aller Berechnungsansätze dar. Hier ist zu erkennen, dass die Ansätze eins, drei und fünf des MLM geringere Beschleunigungswerte als die der DIM Berechnung liefern. Berechnungen nach diesen Ansätzen wären somit für das Tragwerk 1 mit Unsicherheiten verbunden, da hier geringere Beschleunigungswerte resultieren. Jedoch ist die Abweichung des Mittelwertes aller Zugkonfigurationen eines Zugtyps von Interesse. Der Ablauf wird in diesem Unterpunkt schrittweise erarbeitet.

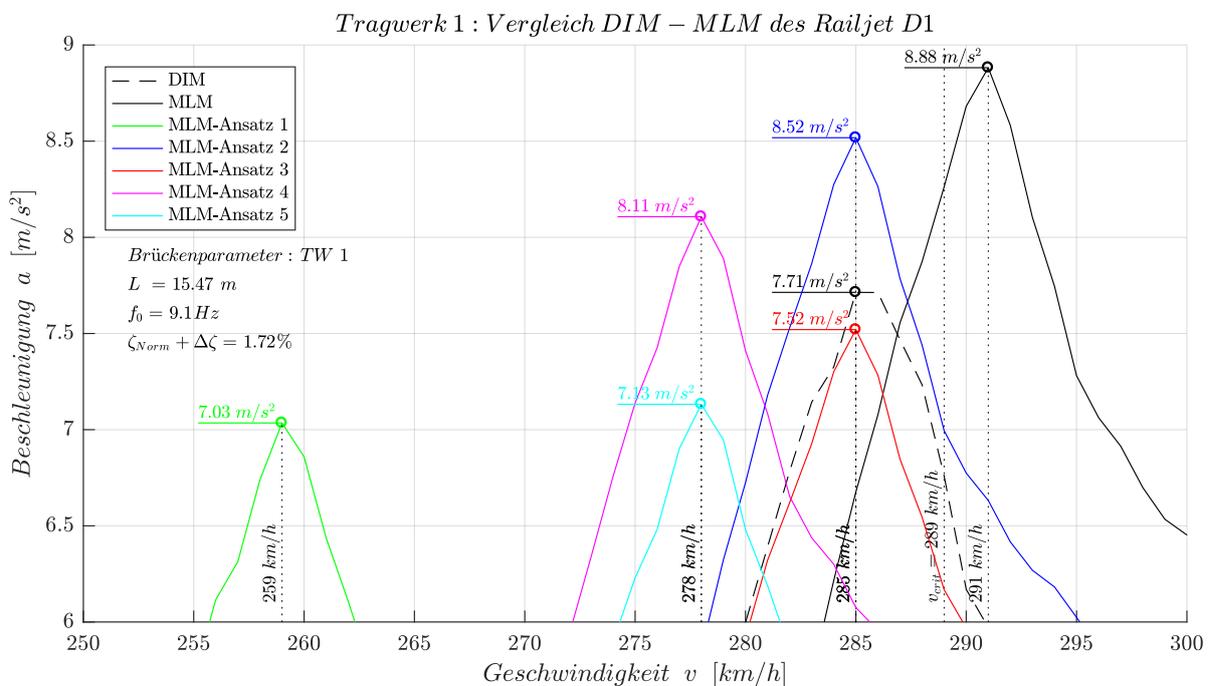


Abb. 4.8: Geschwindigkeitsverlauf der Vertikalbeschleunigung des Railjet D1

Anhand der Railjet Konfigurationen werden die Schritte der Auswertung exemplarisch erarbeitet. Dafür wird nun die Abbildung 4.8 auf die Berechnung nach MLM reduziert, da der Ablauf für alle Berechnungsansätze ident ist. In Abb. 4.9 ist der Geschwindigkeitsverlauf der Vertikalbeschleunigung der Überfahrten aller 16 Railjet Konfigurationen aus Tab. 3.4 ersichtlich.

Um eine Überladung der Grafik zu vermeiden, wurden nur die Beschleunigungswerte der minimalen und maximalen Zugkonfiguration gekennzeichnet.

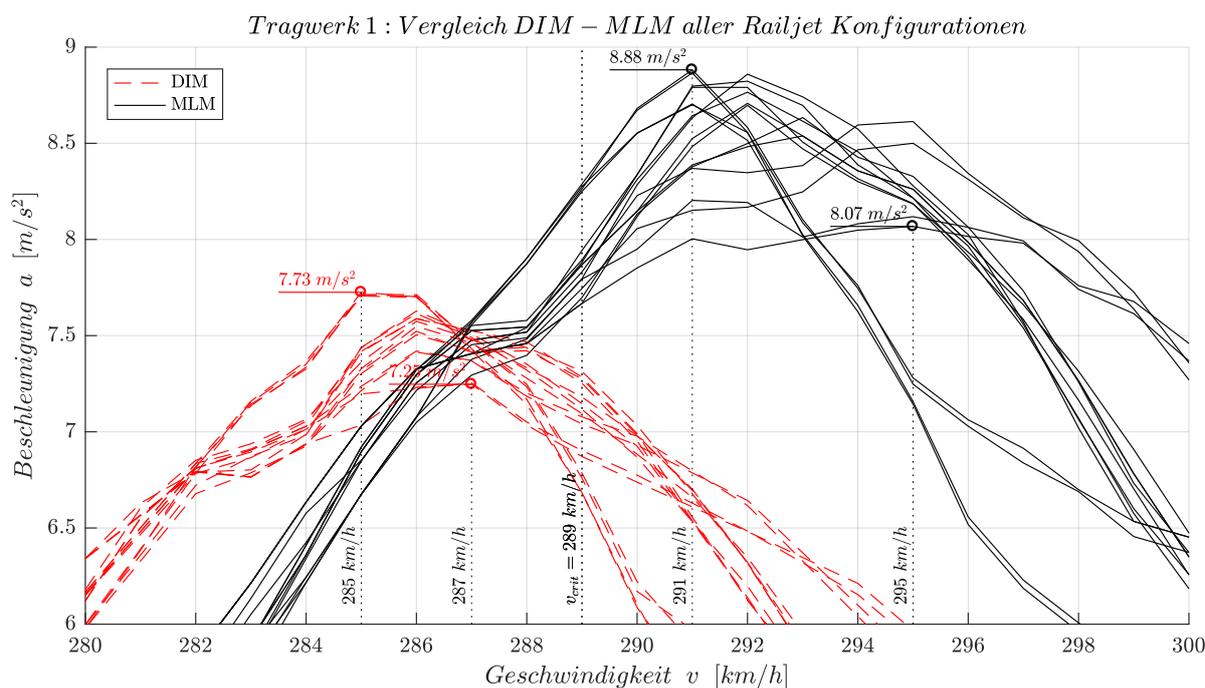


Abb. 4.9: Geschwindigkeitsverlauf der Vertikalbeschleunigung aller Railjet Konfigurationen

Der Ablauf der Auswertung setzt sich folgendermaßen zusammen:

1. Auslesen von $a_{max,MLM}$ in der Nähe von v_{cr} : Der kritische Geschwindigkeitsbereich wurde zu 289 km/h berechnet. Für den Railjet D1 befindet sich in diesem Bereich der Spitzenwert der Beschleunigung bei $8,88 \text{ m/s}^2$.
2. Auslesen von $a_{max,DIM}$: Für die Überfahrt nach DIM ergibt sich ein Maximalwert der Vertikalbeschleunigung des Railjet D1 von $7,73 \text{ m/s}^2$.
3. Berechnung von $a_{max,MLM}/a_{max,DIM}$: Das Verhältnis der Spitzenwerte der Beschleunigung berechnet sich zu $1,15$. Somit ergibt die Überfahrt der Berechnung nach MLM um 15% höhere Beschleunigungswerte, als die des DIM. Die Berechnung nach DIM ist daher als *benefit* zu werten, da infolge höherer Beschleunigungswerte des MLM eine unwirtschaftliche Bemessung zu erwarten ist.

Die nachfolgende Tabelle 4.2 enthält die Beschleunigungswerte der Berechnung der Überfahrten nach dem *moving load model* (MLM) und dem *detailed interaction model* (DIM) für die zuvor definierten Konfigurationen des Railjets, gemäß Abb. 4.9. Die vierte Spalte der Tabelle ergibt die Auswertung des Verhältnisses der maximalen Beschleunigungswerte der Überfahrt nach MLM zu der maximalen Beschleunigung nach DIM (a_{MLM}/a_{DIM}). Die letzte Zeile der Tabelle bildet den Mittelwert des Verhältnisses der Spitzenwerte der Beschleunigung. In der Auswertung werden im Sinne einer geringeren Anzahl an Vergleichswerten nur Mittelwerte aller Zugtypen berücksichtigt. So lässt sich erkennen, dass alle Railjet Konfigurationen im Mittel um 15% höhere Beschleunigungswerte bei der Berechnung nach MLM im Vergleich zur Berechnung nach DIM liefern. Somit wäre es im Sinne der geringeren Tragwerksantwort von Vorteil, die Überfahrt mit dem detaillierten Berechnungsverfahren (DIM) zu simulieren.

Tab. 4.2: Beschleunigungswerte der Railjet Konfigurationen (TW 1)

Zugtyp	$a_{MLM} [m/s^2]$	$a_{DIM} [m/s^2]$	$a_{MLM}/a_{DIM}[-]$
Railjet A1	8,61	7,42	1,16
Railjet A2	8,50	7,41	1,15
Railjet B1	8,86	7,59	1,17
Railjet B2	8,77	7,59	1,16
Railjet C1	8,82	7,63	1,16
Railjet C2	8,79	7,61	1,15
Railjet D1	8,88	7,71	1,15
Railjet D2	8,87	7,71	1,15
Railjet E1	8,20	7,25	1,13
Railjet E2	8,07	7,25	1,11
Railjet F1	8,63	7,50	1,15
Railjet F2	8,54	7,52	1,13
Railjet G1	8,71	7,57	1,15
Railjet G2	8,70	7,55	1,15
Railjet H1	8,70	7,71	1,13
Railjet H2	8,70	7,73	1,13
Mittelwert			1,15

Analog zur Auswertung der Beschleunigung wird diese auch mit der Geschwindigkeit durchgeführt:

1. Auslesen von $v_{cr,MLM}$: Der kritische Geschwindigkeitsbereich ergibt sich für Berechnung nach MLM des Railjet D1 zu 291 km/h.
2. Auslesen von $v_{cr,DIM}$: Für die Überfahrt nach DIM liegt die Resonanzgeschwindigkeit des Railjet D1 bei 285 km/h.
3. Berechnung von $v_{cr,MLM}/v_{cr,DIM}$: Das Verhältnis der kritischen Geschwindigkeitswerte ergibt 1,03. Somit ist die Resonanzgeschwindigkeit der Berechnung nach MLM um 3 % Prozent höher, als die der DIM.

Tabelle 4.3 beinhaltet die kritischen Überfahrgeschwindigkeiten aller Railjet Konfigurationen der MLM und DIM Berechnung. Die vierte Spalte bildet deren Verhältnisse zueinander. Als Ergebnis der Auswertung kann nach Tab. 4.3 eine mittlere Abweichung der MLM Berechnung zur DIM Berechnung von zwei Prozent festgestellt werden. Hier sind die Werte der Resonanzgeschwindigkeit der MLM Berechnung für diesen Zugtyp höher, als die der DIM Berechnung.

Tab. 4.3: Geschwindigkeitswerte der Railjet Konfigurationen (TW 1)

Zugtyp	$v_{MLM} [m/s^2]$	$v_{DIM} [m/s^2]$	$v_{MLM}/v_{DIM}[-]$
Railjet A1	295	286	1,03
Railjet A2	295	286	1,03
Railjet B1	292	286	1,02

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. 4.3: Geschwindigkeitswerte der Railjet Konfigurationen (TW 1) (Fortsetzung)

Zugtyp	v_{MLM} [m/s^2]	v_{DIM} [m/s^2]	v_{MLM}/v_{DIM} [-]
Railjet B2	292	286	1,02
Railjet C1	292	286	1,02
Railjet C2	291	286	1,02
Railjet D1	291	285	1,02
Railjet D2	291	285	1,02
Railjet E1	291	287	1,01
Railjet E2	295	287	1,03
Railjet F1	293	286	1,02
Railjet F2	293	286	1,02
Railjet G1	292	286	1,02
Railjet G2	292	286	1,02
Railjet H1	291	285	1,02
Railjet H2	291	285	1,02
Mittelwert			1,02

4.3.1 Ergebnisdarstellungen und Interpretation

In diesem Unterpunkt wird die Berechnung nach MLM der DIM graphisch gegenübergestellt. Untersucht wurden alle in *Kapitel 3.3* formulierten Ansätze 1-5 inklusive des MLM aus *Kapitel 2.2*. Dazu wurden Diagramme erstellt, die eine Abweichung der MLM gegenüber der DIM Berechnung sichtbar machen. Die durchgezogene Linie stellt die Überfahrten simuliert nach DIM dar. Die farblich markierten Punkte kennzeichnen die verschiedenen Berechnungsansätze.

Wie vorhin erläutert, fließen die Mittelwerte der drei Zugtypen (ICE, Railjet, EC) in die Auswertung ein. Dies führt zu einer übersichtlicheren Darstellung bei der großen Datenmenge. Da alle 75 Brückentragwerke gemäß Tabelle A.1 untersucht wurden, werden die Verhältnisse auf die Spannweite der jeweiligen Brücke bezogen.

Die nachfolgenden Abbildungen 4.10 bis 4.12 stellen in der oberen Grafik die Mittelwerte der Verhältnisse a_{MLM}/a_{DIM} dar. Die untere Abbildung zeigt die Mittelwerte der Verhältnisse v_{MLM}/v_{DIM} .

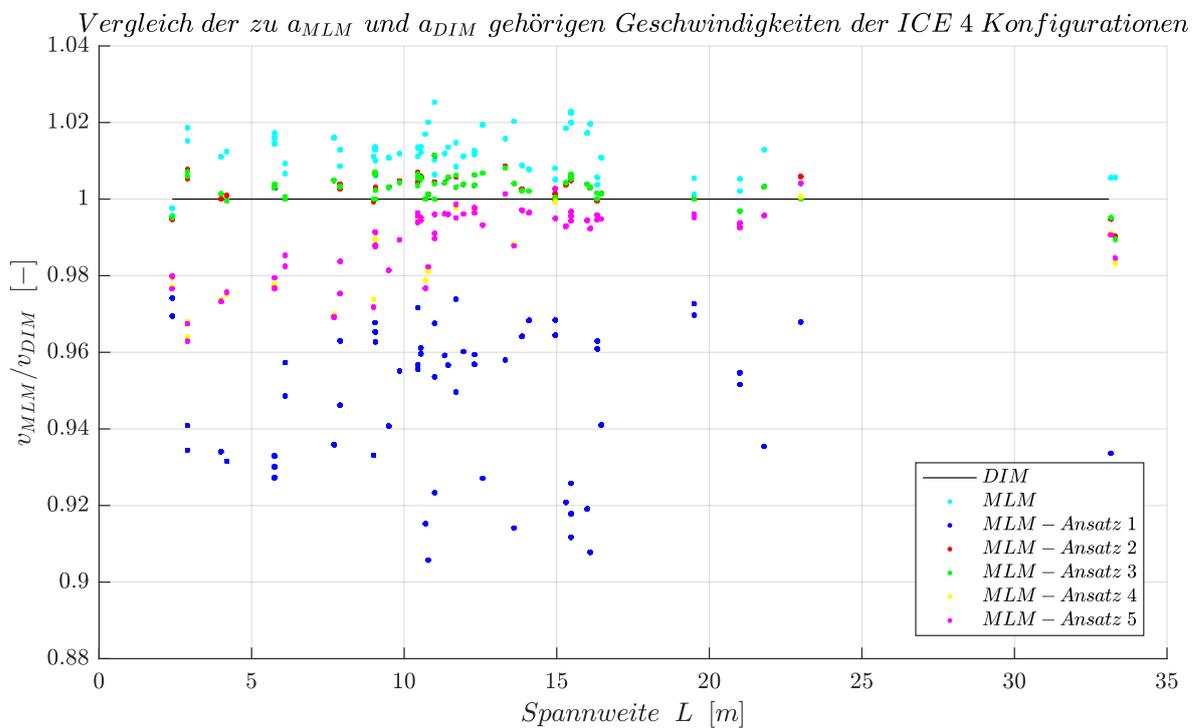
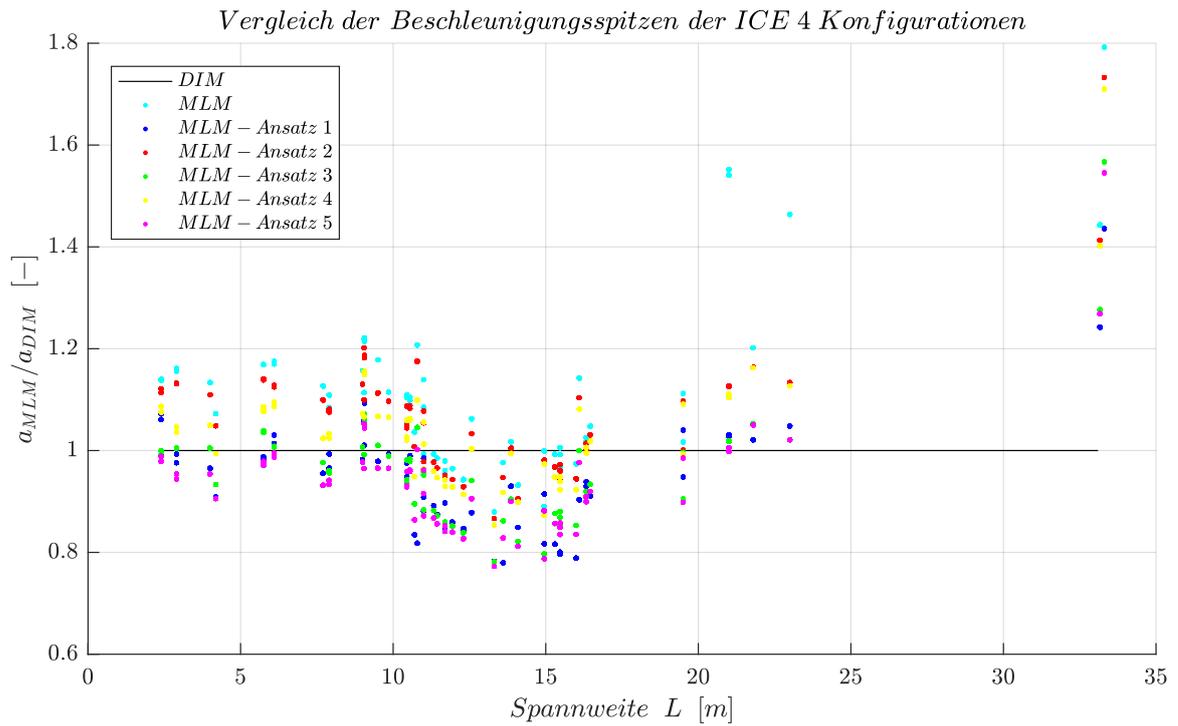


Abb. 4.10: Abweichung der Beschleunigungsspitzen und zugehörigen Geschwindigkeiten der ICE 4 Konfigurationen: MLM-DIM

4.3.1.1 Interpretation der Ergebnisse der ICE 4 Konfigurationen

Abbildung 4.10 stellt die Mittelwerte der Verhältnisse a_{MLM}/a_{DIM} der ICE 4 Konfigurationen graphisch dar. Hier treten bei den Überfahrten nach Ansatz 1, 3 und 5 für Tragwerke bis 10 m Spannweite um bis zu 10 % niedrigere Beschleunigungswerte auf als bei den Überfahrten nach DIM. Die Berechnung der Überfahrten mit diesen Ansätzen (1, 3, 5) wäre somit mit Unsicherheiten verbunden, da hier geringere Beschleunigungswerte in Brückenmitte auftreten. In Hinblick auf die Resonanzgeschwindigkeiten der drei Ansätze treten beim Ansatz 1 Abweichungen von bis zu 7 % auf. Ansatz 5 weist Abweichungen der kritischen Überfahrgeschwindigkeit von 3 % auf. Die Resonanzgeschwindigkeiten von Ansatz 3 sind mit Abweichungen unter 1 % den Überfahrten nach DIM sehr ähnlich.

Für Spannweiten bis 10 m liefern Überfahrten bei Berechnung nach MLM, Ansatz 2 und Ansatz 4 höhere Beschleunigungswerte, als die der DIM Berechnung. Beim reinen MLM sind Abweichungen von bis zu 20 % feststellbar. Die Berechnung wäre für diesen Spannweitenbereich somit auf der sicheren Seite. Die Verwendung dieser Beschleunigungswerte würde jedoch zu einer unwirtschaftlichen Bemessung führen. Ansatz 2 zeigt eine gute Übereinstimmung der Resonanzgeschwindigkeiten zur DIM Berechnung. Große Abweichungen in Bezug auf die kritischen Geschwindigkeiten sind bei Ansatz 4 zu erkennen. Die Größenordnung dieser Abweichung ist mit 4 % begrenzt. Beim reinen MLM Berechnung treten Abweichungen der Geschwindigkeit von etwa 2 % auf.

Die Berechnung nach MLM und allen Ansätzen liefert für Brücken im Bereich der Spannweite von 11 m bis 16 m, abgesehen von einzelnen Ausnahmen, geringere Beschleunigungswerte als die DIM Berechnung. Die Abweichungen des MLM liegen im Durchschnitt bei 5 %. Vereinzelt treten auch hier Abweichungen größer als 10 % auf. Größere Abweichungen der Beschleunigung sind bei den Überfahrten nach Ansatz 1, 3 und 5 festzustellen. Diese erreichen Werte bis zu 20 %. Im Vergleich der Resonanzgeschwindigkeiten liefert Ansatz 1 die größten Abweichungen zum DIM von 9 %. Die Abweichungen der kritischen Überfahrgeschwindigkeit der restlichen Ansätze befinden sich im Bereich von maximal 3 %.

Spannweiten von 19 m bis 25 m weisen ähnliche Verhältnisse der Spitzenbeschleunigung und Überfahrtgeschwindigkeit wie Tragwerke bis 10 m auf. In diesem Spannweitenbereich sind für einzelne Tragwerke nach Berechnung der Überfahrt mit dem MLM um bis zu 55 % höhere Beschleunigungswerte, im Vergleich zur DIM Berechnung, erkennbar.

Zugüberfahrten an Brückentragwerken mit Spannweiten von etwa 33 m, simuliert nach MLM und allen weiteren Ansätze, liefern die größten Abweichungen im untersuchten Spannweitenbereich. Für das reine MLM sind die Beschleunigungswerte um bis zu 80 % höher als bei der DIM Berechnung. Die kritischen Überfahrgeschwindigkeiten stellen im Vergleich dazu keine größeren Abweichungen zum bisherigen Spannweitenbereich dar.

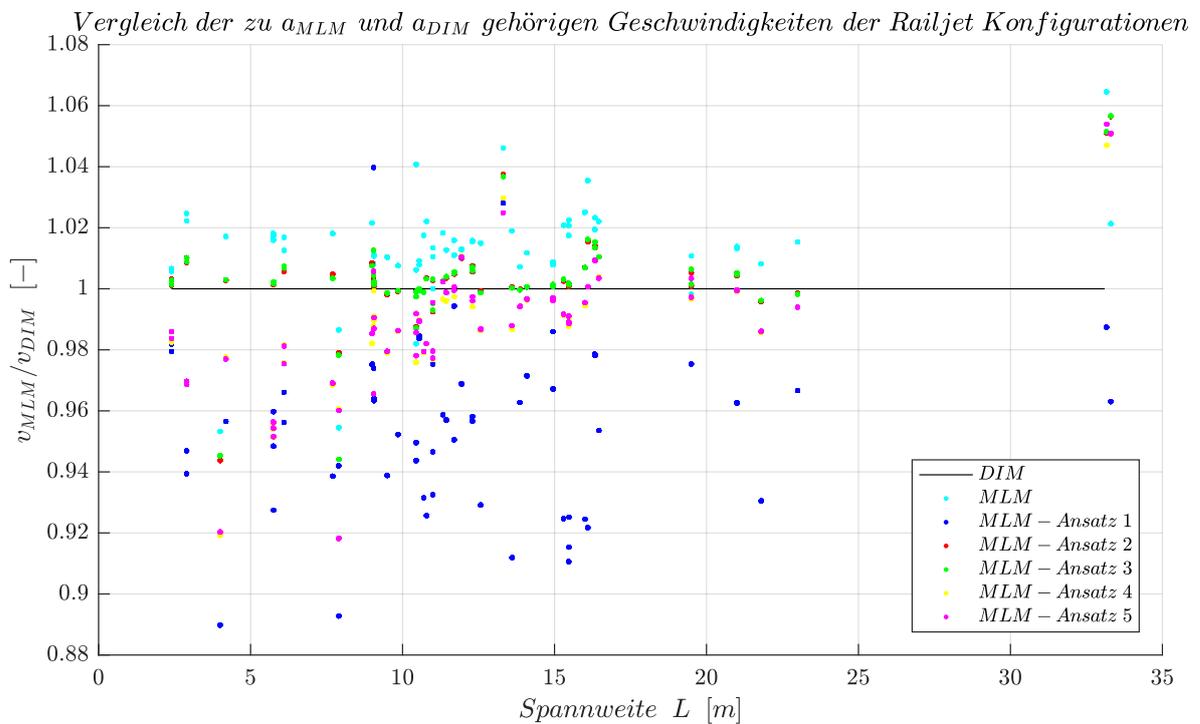
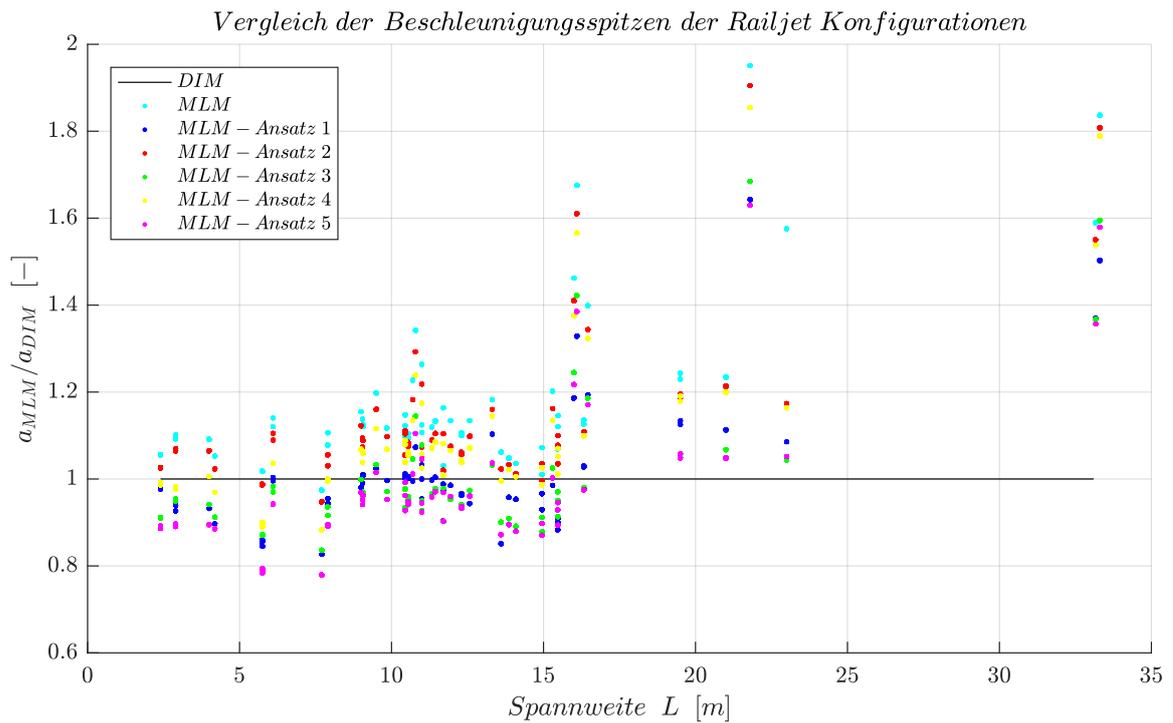


Abb. 4.11: Abweichung der Beschleunigungsspitzen und zugehörigen Geschwindigkeiten der Railjet Konfigurationen: MLM-DIM

4.3.1.2 Interpretation der Ergebnisse der Railjet Konfigurationen

In Abbildung 4.11 sind die Mittelwerte der Verhältnisse a_{MLM}/a_{DIM} der Railjet Konfigurationen dargestellt. Aus den Überfahrten simuliert nach Ansatz 1, 3 und 5, für Spannweiten bis 15 m resultieren geringere Beschleunigungswerte in Brückenmitte als aus den Überfahrten nach DIM. Somit wäre es unsicher, diese Beschleunigungswerte der Bemessung zugrunde zu legen.

Die Verhältnisse für den Ansatz 1 und 3 weichen für Brücken bis 9 m Spannweite um bis zu 20 % von der Berechnung nach DIM ab. Für Tragwerke mit Längen von 9 m bis 15 m sind die Abweichungen der Verhältnisse der Mittelwerte der beiden Ansätze (1, 3) geringer. Im Durchschnitt liegt der Wert bei 5 %. Die Geschwindigkeitsabweichungen variieren beim Ansatz 1 hingegen mit bis zu 22 % sehr stark. Beim Ansatz 3 sind die Abweichungen der kritischen Überfahrgeschwindigkeit für Brückenlängen bis 15 m im Mittel mit 1 % begrenzt.

Die maximale Abweichungen der Vertikalbeschleunigung liegt beim Ansatz 5 für Brücken bis 9 m Länge bei etwa 22 %. Für Spannweiten von 9 m bis 15 m treten auch hier geringere Abweichungen von ca. 18 % auf. Die Verhältnisse der Mittelwerte der kritischen Überfahrgeschwindigkeit des Ansatzes 5 weichen für Brückenlängen bis 10 m um bis zu 18 % von der DIM Berechnung ab. Von 10 m bis 15 m treten wesentlich geringere Abweichungen von etwa 2 % auf.

Zugfahrten über Brücken, die mit dem Ansatz 4 simuliert wurden, erzeugen für Spannweiten bis 9 m um etwa 10 % geringere Beschleunigungswerte als das DIM. Ab 9 m bis 15 m sind die Mittelwerte der Verhältnisse um etwa 10 % höher, im Vergleich zur DIM Berechnung. In diesem Bereich wären die Werte für den Ansatz 4 eine sichere Näherung. Die Abweichungen der Geschwindigkeiten des Ansatzes 4 betragen für Spannweiten von 9 m bis 15 m im Mittel etwa 2 %. Bei kürzeren Tragwerken treten Abweichungen für den Ansatz 4 von bis zu 8 % auf.

Überfahrten simuliert nach MLM und Ansatz 2 sind generell für alle Tragwerke auf der sicheren Seite. Diese liefern größere Beschleunigungswerte als die der DIM Berechnung. Durchschnittlich weichen die Mittelwerte der Verhältnisse um 10 % von der DIM Berechnung ab. Die Geschwindigkeitsabweichungen sind für den Ansatz 2 mit etwa einem Prozent begrenzt. Bei Berechnung nach reinem MLM ist eine Abweichung in den Verhältnissen der Mittelwerte der Geschwindigkeit von 2 % erkennbar.

Für Brücken ab 16 m Spannweite sind die Beschleunigungswerte der Überfahrten aller untersuchten Ansätze größer als die der DIM Berechnung. Die Abweichungen in den Verhältnissen der reinen MLM Berechnung zur DIM weisen mit etwa 100 % die größten Werte auf. Im Vergleich zur DIM Berechnung weichen die Werte für den Ansatz 5 um 60 % ab. Berechnung nach diesen Ansätzen würde somit zu unwirtschaftlichen Ergebnissen in der Bemessung des Tragwerks führen.

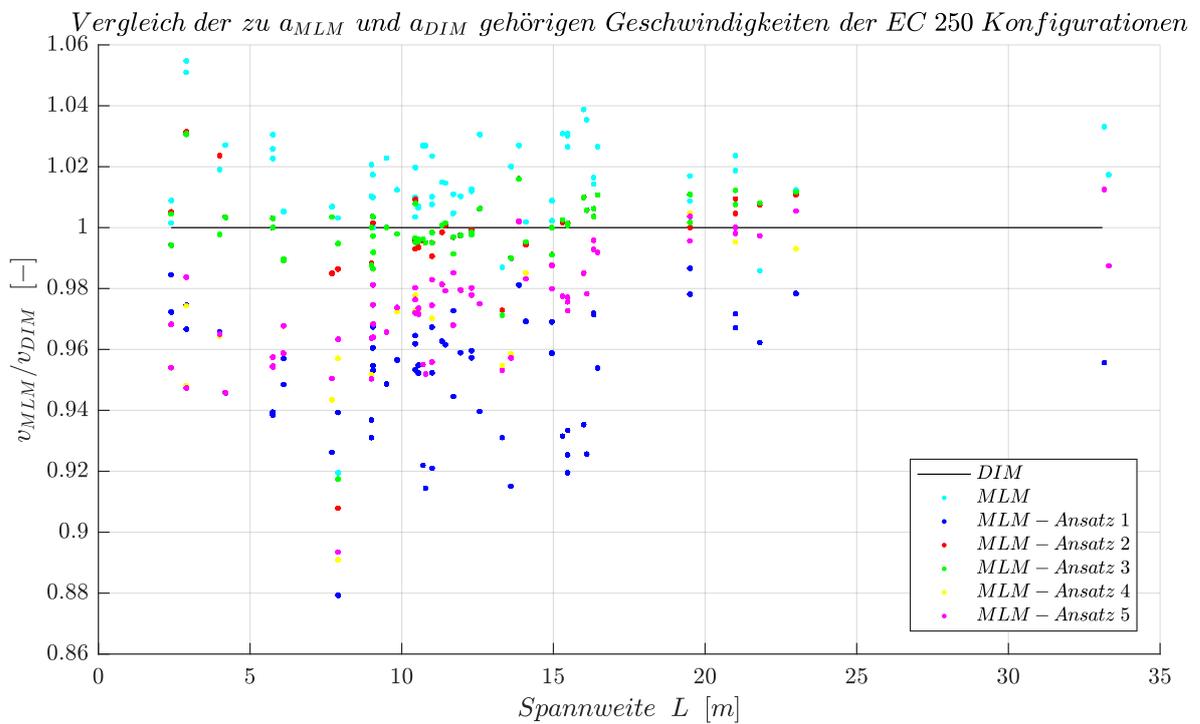
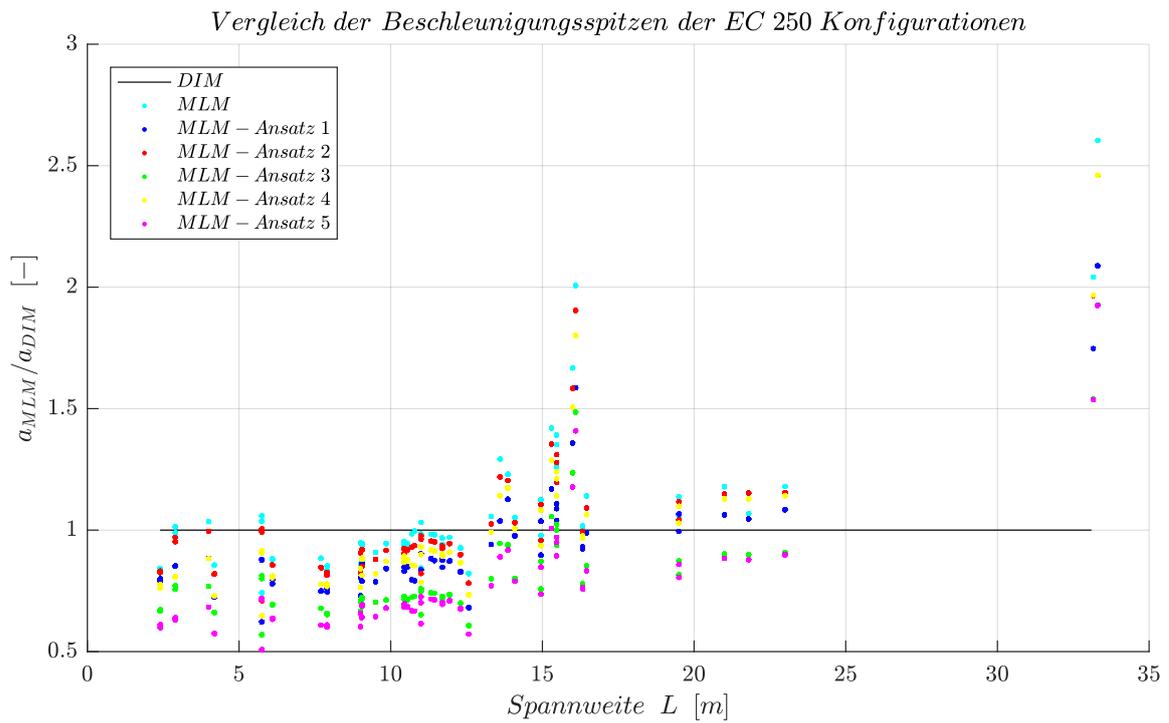


Abb. 4.12: Abweichung der Beschleunigungsspitzen und zugehörigen Geschwindigkeiten der EC 250 Konfigurationen: MLM-DIM

4.3.1.3 Interpretation der Ergebnisse der EC 250 Konfigurationen

Abbildung 4.12 bildet die Auswertung der Verhältnisse des Mittelwerts der EC 250 Konfigurationen. Bis 12,5 m weisen alle Überfahrten der untersuchten Ansätze, außer vier Tragwerke nach MLM, geringere Beschleunigungswerte als die des DIM auf. Die Abweichungen des reinen MLM sind mit durchschnittlich 5 % am geringsten. Ansatz 5 hat mit bis zu 50 % die größten Abweichungen in dem untersuchten Bereich. Grundsätzlich sind alle Berechnungen in dem Spannweitenbereich nach den Ansätzen des MLM auf der unsicheren Seite und sollten für eine weitere Bemessung nicht herangezogen werden. Die Mittelwerte der Verhältnisse der Resonanzgeschwindigkeiten streuen entlang des betrachteten Bereichs. Durchschnittlich hat der Ansatz 1 mit etwa 5 % die größten Abweichungen zur Berechnung nach DIM. Die kleinsten Abweichungen sind für den Ansatz 2 und 3 mit etwa 1 % feststellbar.

Ab 12,5 m bis 24 m Spannweite der Brücke treten für die untersuchten Ansätze nach MLM, Ansatz 1, 2 und 4, größere Werte der Vertikalbeschleunigung im Vergleich zum DIM auf. Die größten Abweichungen sind hier bei den Überfahrten des reinen MLM mit Spitzenwerten von 100 % erkennbar. Überfahrten der Ansätze 3 und 5 weisen in diesem Spannweitenbereich (12,5 bis 24 m) geringere Werte der Vertikalbeschleunigungen auf. Diese betragen durchschnittlich 20 % weniger im Vergleich zum DIM. Die Abweichung der kritischen Geschwindigkeiten liegen für Tragwerke von 19 m bis 24 m aller Ansätze in einem kleineren Bereich als für die kürzeren Tragwerke. Für den Ansatz 5 sind die Resonanzgeschwindigkeiten im Mittel auf etwa gleicher Höhe wie die DIM Berechnung. Beim Ansatz 1 sind die durchschnittlichen Abweichungen etwa 3 %.

Ähnlich zu den vorherigen Zugtypen treten die größten Abweichungen der Resonanzgeschwindigkeiten bei Tragwerken von etwa 33 m Spannweiten auf. Hier sind die Beschleunigungswerte des reinen MLM um 160 % höher als die der DIM Berechnung. Der Spitzenbeschleunigungswert des Ansatzes 5 weicht für dieses Tragwerk um etwa 95 % vom DIM ab. Somit wäre eine Berechnung dieser Brücken mit den untersuchten Verfahren auf der sicheren Seite, würde aber aufgrund der enormen Abweichungen zu einer unwirtschaftlichen Bemessung führen. Die Unterschiede in den Resonanzgeschwindigkeiten sind für Tragwerke ab 33 m mit maximal 5 % Abweichung im gleichen Rahmen der kurzen Tragwerke.

4.3.2 Schlussfolgerung

Die statistische Auswertungen des Mittelwerts (MW) des Verhältnisses der Beschleunigungsspitzen und der zugehörigen Resonanzgeschwindigkeiten aus Abb. 4.10 - 4.12 sind in der folgenden Tabelle 4.4 veranschaulicht. Hier wurden die zuvor berechneten Verhältnisse der Mittelwerte der Zugtypen nochmals über alle Brücken gemittelt. Somit sind diese Werte als grober Richtwert zu sehen.

Tab. 4.4: Verhältnis a_{MLM}/a_{DIM} der Überfahrten - MLM

	ICE 4	RJ	EC 250	ICE 4	RJ	EC 250
Ansatz	a_{MLM}/a_{DIM}			v_{MLM}/v_{DIM}		
MLM	1,10	1,17	1,07	1,01	1,01	1,02
A 1	0,95	1,01	0,93	0,95	0,96	0,95
A 2	1,06	1,13	1,03	1,00	1,00	1,00
A 3	0,96	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00
A 4	1,03	1,09	0,98	0,99	0,99	0,97
A 5	0,94	0,97	0,77	0,99	0,99	0,97

Empfehlung:

Aufgrund der Auswertung kann für die Überfahrten des Zugtyps **ICE 4** über Brücken bis 10 m Spannweite der Ansatz 3 empfohlen werden. Dieser bildet das reale Verhalten der Antwort des Tragwerks in Bezug auf die Vertikalbeschleunigung und Resonanzgeschwindigkeit am besten ab. Im Spannweitenbereich von 10 m - 20 m ist eine Verschiebung der Verhältnisse der Mittelwerte feststellbar. Aufgrund der aufgebrachten Zusatzdämpfung $\Delta\zeta$ nach Norm könnte diese Verschiebung herrühren und sollte gesondert betrachtet werden.

Für Spannweiten von 10 m bis 16 m nähern sich die Beschleunigungswerte der Zugfahrten des reinen MLM Ansatz der DIM am besten. Auch weichen die kritischen Überfahrgeschwindigkeiten in diesem Bereich in etwa um 2 % von der Berechnung nach DIM ab. Für Tragwerke mit größeren Spannweiten ist keine allgemeine Berechnungsmethode ableitbar.

Die Beschleunigungswerte, die aus den Überfahrten der **Railjet** Konfigurationen resultierten, können für Spannweiten bis 10 m näherungsweise mit dem Ansatz 2 berechnet werden. Hier treten zwar vereinzelt größere Beschleunigungswerte auf, jedoch befinden sich alle Werte im sicheren Bereich. Auch hier sind die Abweichungen der kritischen Geschwindigkeit im Gesamtvergleich, mit etwa einem Prozent, gering. Für Brücken mit Spannweiten von 10 bis 15 m ist der Ansatz 4 in Hinblick auf die Vertikalbeschleunigung und Resonanzgeschwindigkeit eine gute und auch sichere Näherung.

Zugfahrten der Konfiguration des **EC 250** bis 12,5 m weisen für Überfahrten des reinen MLM und Ansatz 2 die geringsten Abweichungen zur DIM auf. Da für den Ansatz 2 die Geschwindigkeitsabweichungen in diesem Bereich der Spannweiten geringer sind, ist dieser Ansatz zu empfehlen. Für Spannweiten von 12,5 m bis 24 m ist auch hier eine Verschiebung der Verhältnisse der Mittelwerte feststellbar. In diesem Bereich ist der Ansatz 1 eine gute Näherung zum DIM in Bezug auf die Vertikalbeschleunigungen. Die Abweichung der Resonanzgeschwindigkeiten sind jedoch mit durchschnittlich 5 % am größten im Vergleich zu den anderen Ansätzen.

Um weitere Gesetzesmäßigkeiten zu erkennen bzw. greifbar zu machen, wird die Auswertung anhand der dimensionslosen Hauptparameter im folgenden Unterpunkt neu geordnet.

4.4 Hauptparameter der Überfahrt

Domenech et. al. [6] haben dimensionslose Parameter erarbeitet, die Einfluss auf die Tragwerksantwort bei einer Zugüberfahrt nehmen. Insgesamt wurden 13 Verhältnisse aufgestellt, welche als Fundamentalparameter bezeichnet werden. Diese gliedern sich zu je drei Längenverhältnissen, drei Massenverhältnissen, vier Frequenzverhältnissen und drei Dämpfungsverhältnissen. Ziel dieser Arbeit ist es, aussagekräftige Vergleiche der Berechnungsmodelle greifbar zu machen. Anhand der abgeleiteten Parameter werden in weiterer Folge die in *Kapitel 1.2* bzw. *Kapitel 3.3* aufgestellten Berechnungsmodelle, anhand der dimensionslosen Parameter, auf Abhängigkeiten geprüft.

Von den 13 Fundamentalverhältnissen wurden nach mehreren Studien von *Domenech et. al.* [6] drei Hauptparameter als besonders signifikant erachtet.

Die nachfolgenden Gleichungen beschreiben die drei Hauptparameter:

1. Längenverhältnis

$$\beta_d = \frac{L}{d} \quad (4.4)$$

2. Massenverhältnis

$$\mu_d = \frac{\mu L}{m_b} \quad (4.5)$$

3. Frequenzverhältnis

$$\eta_p = \frac{n_0}{n_p} \quad (4.6)$$

Die in Gl. (4.4) - (4.6) verwendeten Variablen werden wie folgt bezeichnet:

L ist die Spannweite des Brückentragwerks.

d ist der äquidistante Lastabstand gem. Abb. 2.5.

μ ist die Massenbelegung der Brücke.

m_b ist die Masse des Drehgestells.

n_0 ist die erste Eigenfrequenz des Brückentragwerks.

n_p ist die Längseigenfrequenz des Drehgestells.

Die Längseigenfrequenz n_p aus Gl. (4.6) ergibt sich in Abhängigkeit der Federsteifigkeit der Primär- und Sekundärstufe k_1 und k_2 (siehe Abb. 2.3), sowie der Drehgestellmasse m_b :

$$\eta_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2k_1 + k_2}{m_b}} \quad (4.7)$$

Die nachfolgende Abbildung 4.13 zeigt die Hauptparameter jedes Zugtyps in Abhängigkeit von der Eigenfrequenz der Brückentragwerke.

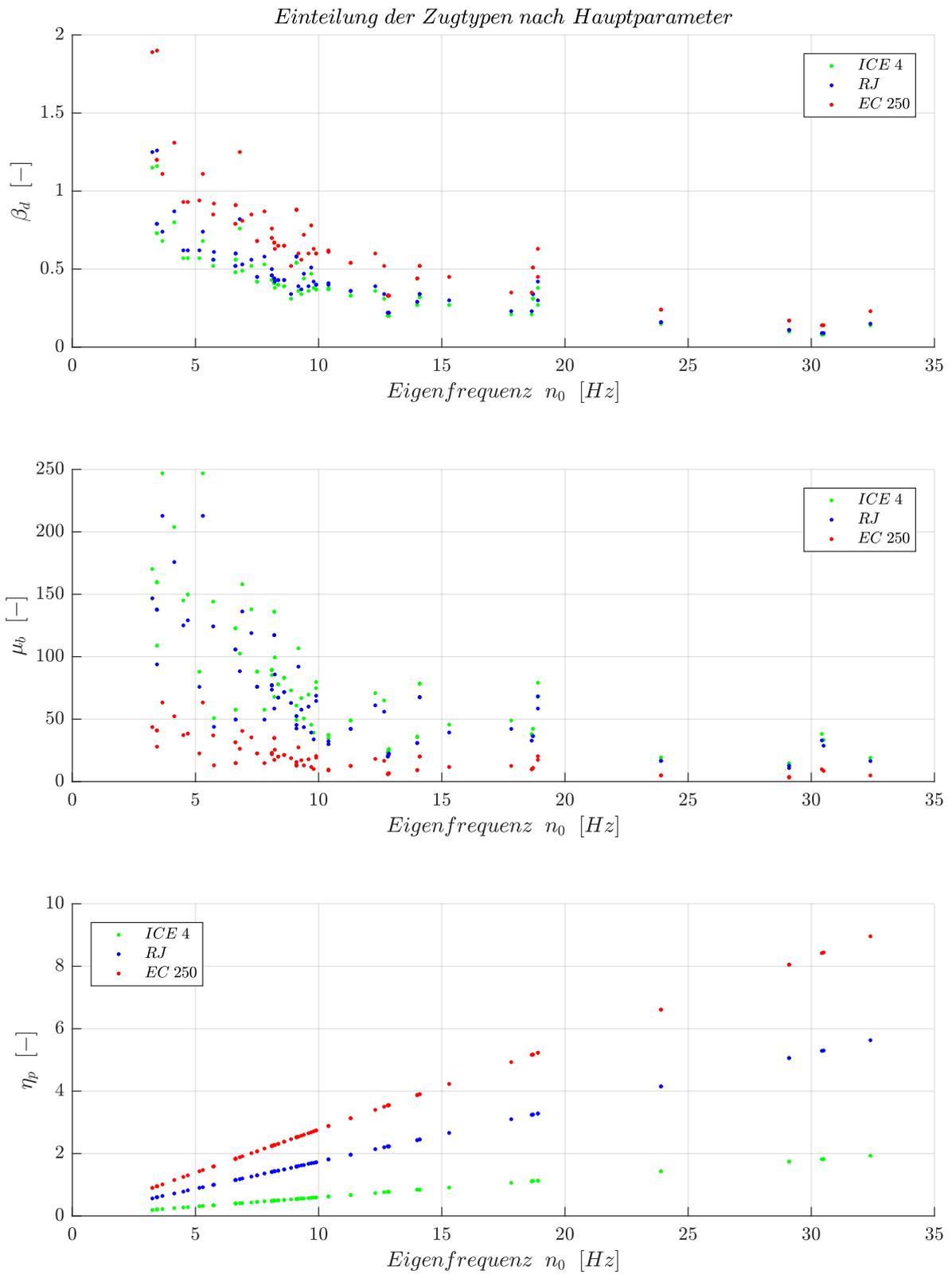


Abb. 4.13: Hauptparameter

4.4.1 Ergebnisdarstellung nach Hauptparametern

In diesem Unterpunkt werden die Verhältnisse der Mittelwerte der Zugtypen des reinen MLM dem DIM anhand der drei Hauptparameter gegenübergestellt. Da bereits in den vorherigen Auswertungen sichtbar wurde, dass alle untersuchten Verfahren entlang der Spannweitenbereichs ähnliche Verläufe annehmen, wurden die Überfahrten hier erstmals mit dem reinen MLM simuliert.

Die Ordinate beschreibt die Mittelwerte des Verhältnisses von a_{MLM}/a_{DIM} bzw. v_{MLM}/v_{DIM} . Die Abszisse stellt die Hauptparameter dar. Da hier nur der reine MLM Ansatz untersucht wurde, sind alle Zugtypen farblich getrennt in einer Grafik zu finden.

Wie schon in *Kapitel 4.2* wird auch in diesem Unterpunkt das Verhältnis aus dem Mittelwert aller Überfahrten eines Zugtyps gebildet. Die Darstellung der Verhältnisse entlang der drei Hauptparameter (β_d , μ_b und η_p) ist in den folgenden Abbildungen 4.14 - 4.16 zu finden.

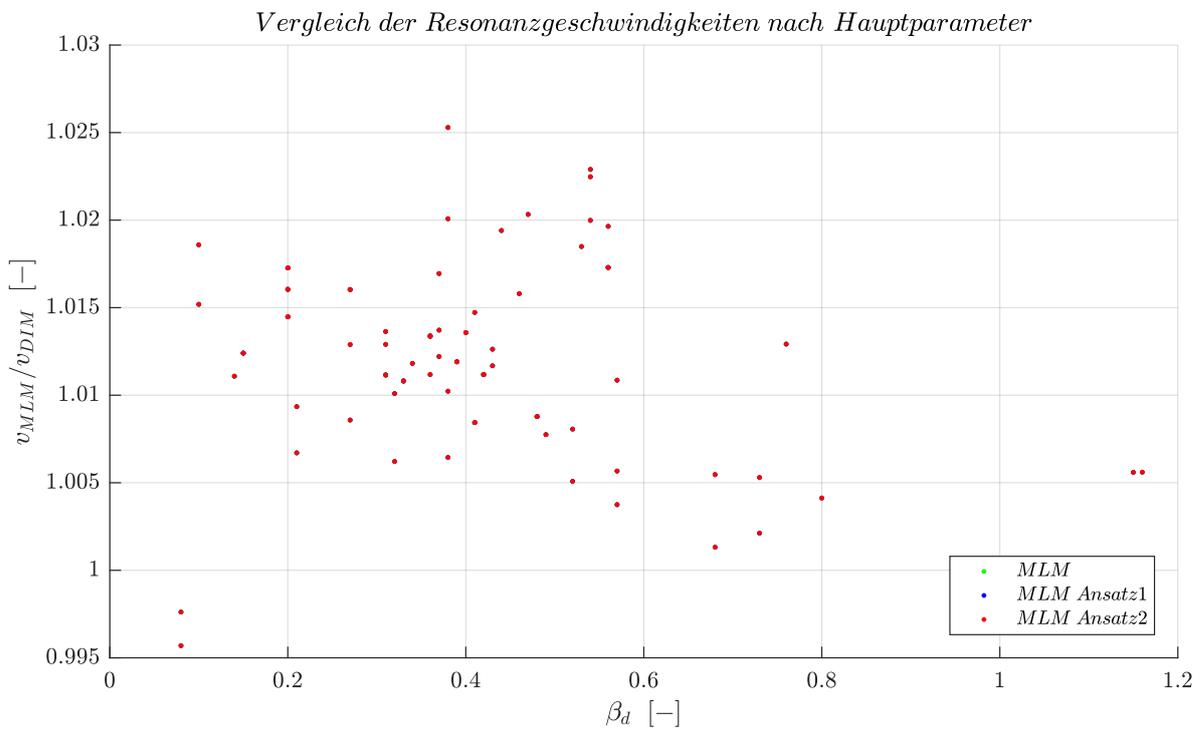
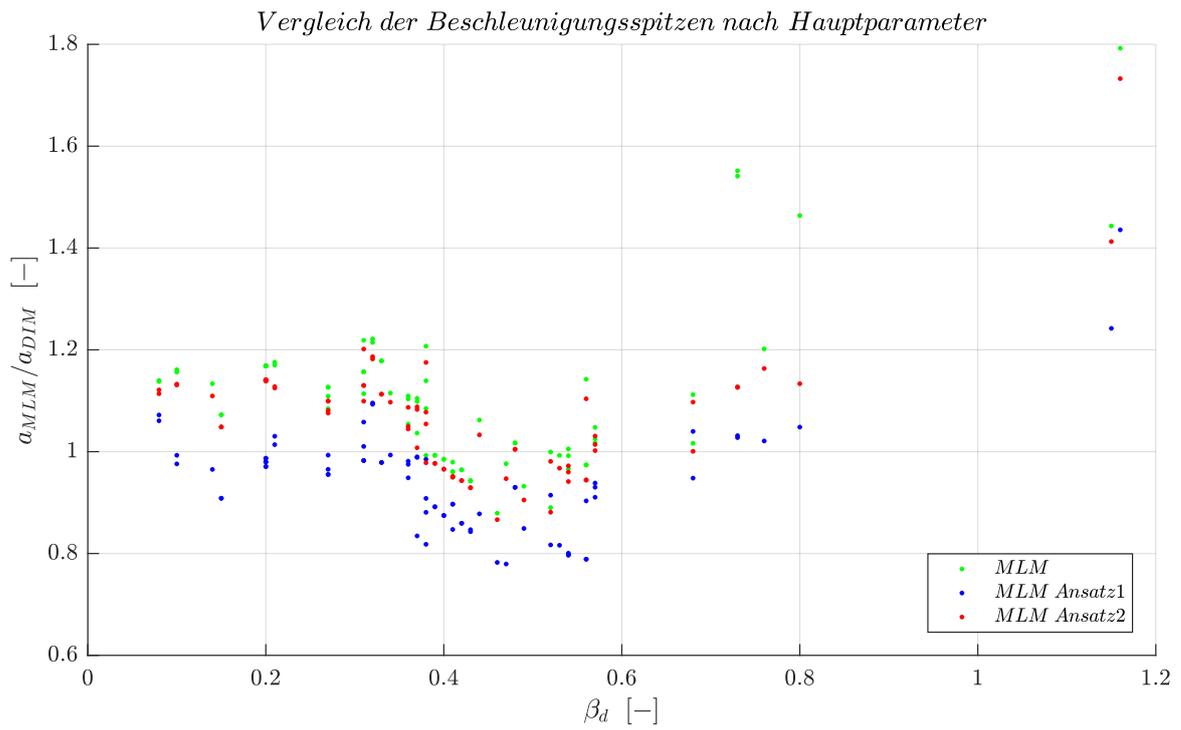


Abb. 4.14: Ergebnisdarstellung nach Hauptparameter β_d

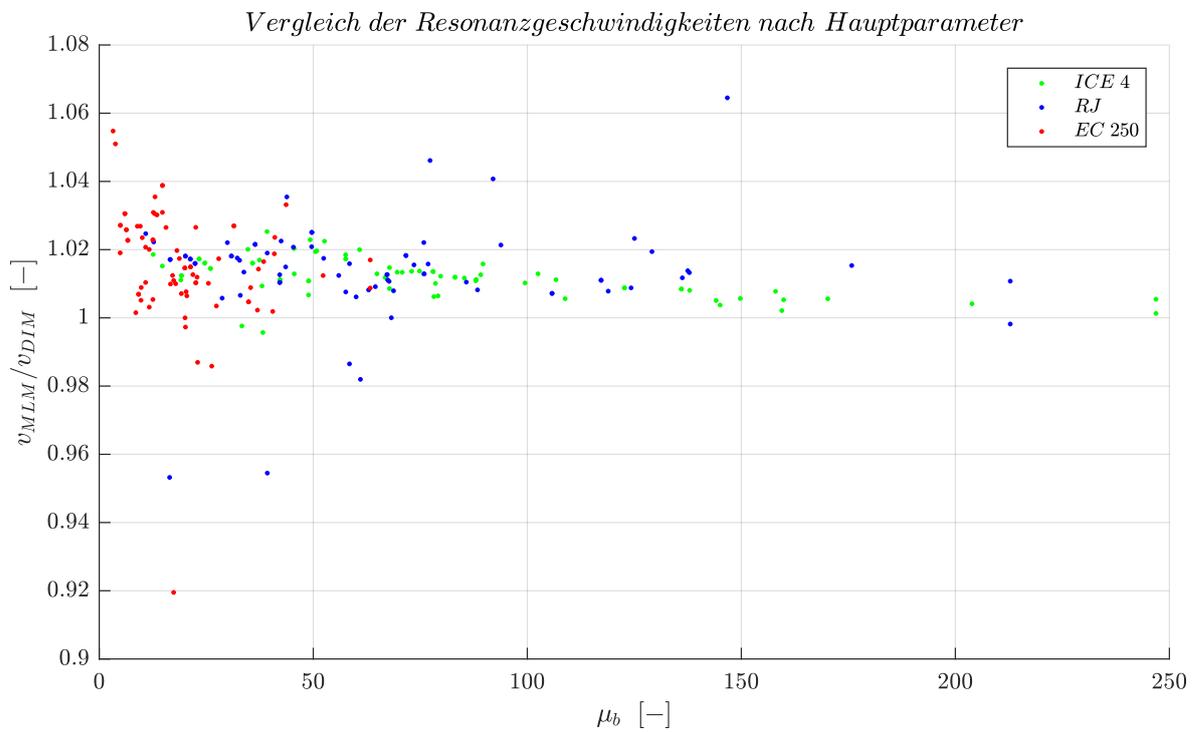
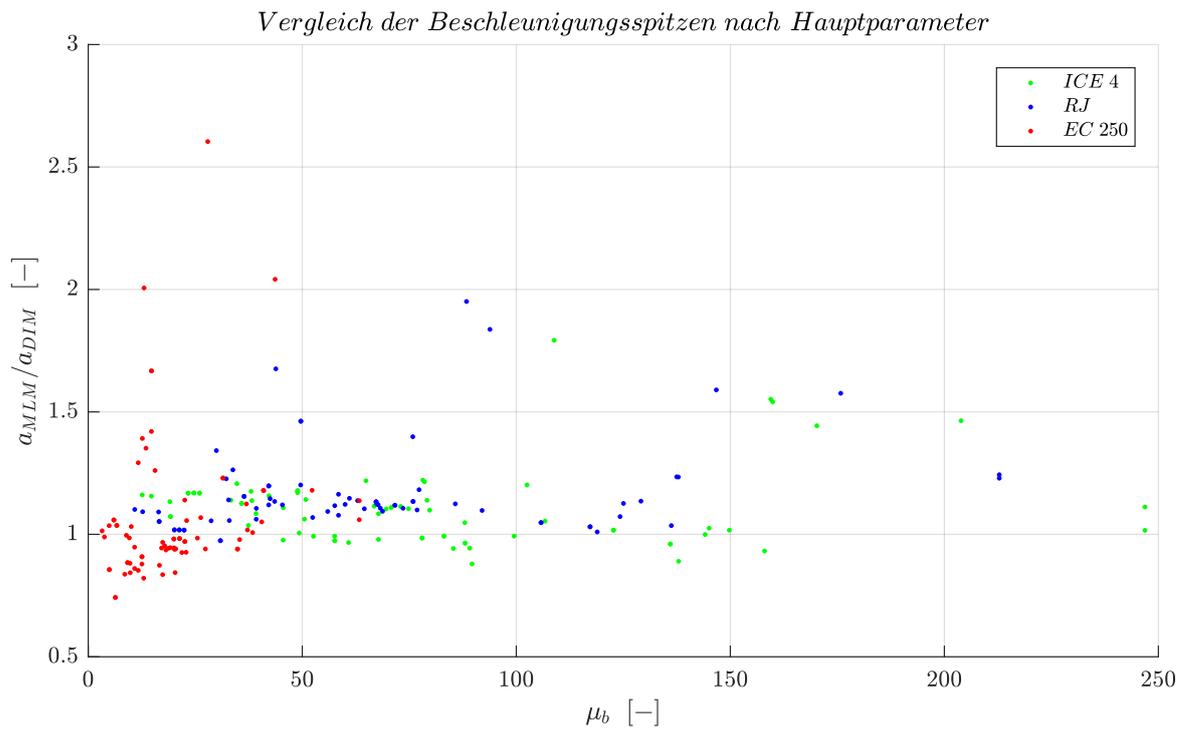


Abb. 4.15: Ergebnisdarstellung nach Hauptparameter μ_b

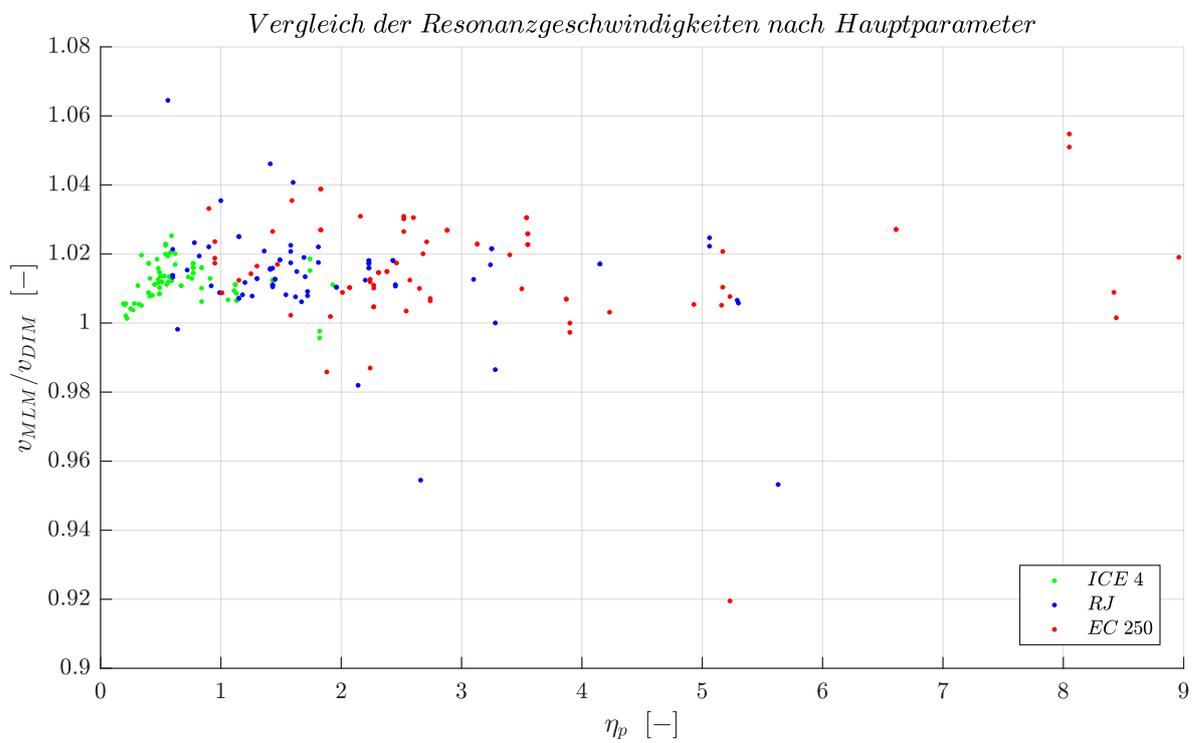
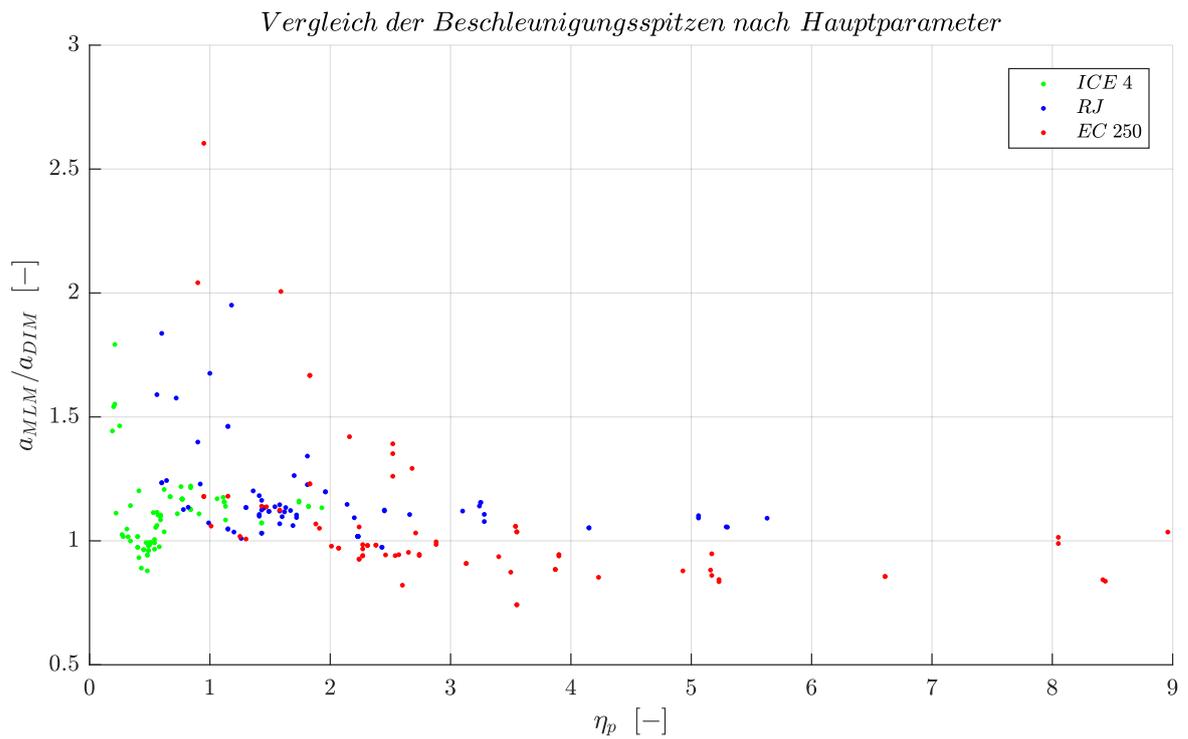


Abb. 4.16: Ergebnisdarstellung nach Hauptparameter η_p

4.4.2 Interpretation der Abbildungen

Die Auswertung nach Hauptparameter β_d ergibt, dass durch die Untersuchungsmethoden keine nennenswerte Mehrkenntnis im Vergleich zur vorherigen Auswertung resultieren. Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass β_d die Spannweite der Brücke beinhaltet. So sind auch hier im geringeren Spannweitenbereich (unter 10 m) mit den einfacheren Modell realitätsnahe Berechnungen möglich. Für größere Spannweiten bildet das MLM keine sinnvolle Näherung. Hier resultieren generell höhere Beschleunigungswerte aus den Berechnungen nach MLM, was zu einer unwirtschaftlichen Bemessung führt.

Die Auswertung der Verhältnisse der Mittelwerte ergibt entlang μ_b kein eindeutiges Schema. Es variieren bei allen Zugtypen an einem Punkt der Abszisse (bzw. μ_b) die Verhältnisse, wodurch somit kein allgemeiner Grundsatz (sowohl für die Vertikalbeschleunigung, als auch für die Resonanzgeschwindigkeit) abgeleitet werden kann.

Die Verhältnisse der Mittelwerte der Beschleunigungsspitzen, geordnet nach η_p ergeben für die Überfahrten des ICE 4 bis $\eta_p = 1$ sprunghafte Werte. Ab η_p im Bereich von 1 bis 2 nehmen die Abweichungen eine konstante Größe von etwa 10 % über der detaillierten Berechnung (DIM) ein. Ähnliches Verhalten ist für die Konfigurationen des Railjet und EC 250 abzuleiten. Bei den Überfahrten dieser Zugtypen ist die Grenze bei $\eta_p = 2$ festzustellen.

Im Allgemeinen führt die Darstellung der Auswertung nach den Hauptparameter zu keinem allgemeinen Grundsatz. Daher wurden keine weiteren Untersuchungen im Rahmen der Auswertung in dieser Arbeit angeführt.

Kapitel 5

Auffinden des Differenzvektors zwischen MLM und DIM Berechnung

In den vorherigen Kapiteln wurden aus den Zugmassen möglichst einfache Ansätze abgeleitet, um die MLM Berechnung der DIM Berechnung anzunähern. Dies war nur zu einem bestimmten Grad der Abweichung möglich. Des Weiteren wurde auch keine Treffsicherheit über den gesamten Spannweitenbereich erreicht. Daher werden im Rahmen dieses Kapitels die genauen Vektoren der Abweichung bestimmt. Im ersten Schritt werden dem Brückentragwerk nur Zusatzmassen aufgeschlagen, um gleiche Beschleunigungswerte der MLM Berechnung wie der DIM Berechnung zu erhalten. Um im zweiten Schritt dieselbe Resonanzgeschwindigkeit der Beschleunigungsspitze zu erreichen, wurde der Berechnung eine variable Zusatzdämpfung zugrunde gelegt.

5.1 Bestimmung der Zusatzmasse

In diesem Unterkapitel folgt die Beaufschlagung einer Zusatzmasse am Brückentragwerk. Die Masse wurde schrittweise erhöht, um den Beschleunigungswert der MLM Berechnung jenem der DIM Berechnung anzugleichen. Abbildung 5.1 zeigt die Vorgehensweise anhand der Überfahrt des Railjet D1 am ersten Brückentragwerk, gemäß Tabelle A.1. In Abb. 5.1 ist der Geschwindigkeitsverlauf der Vertikalbeschleunigung dargestellt. Die Beschleunigungsspitze, bei 291 km/h, die den größten Beschleunigungswert mit 11,38 m/s² liefert, zeigt die Überfahrt des *moving load model*, berechnet nach Kapitel 2.2. Um eine Verschiebung der Vertikalbeschleunigung zu vermeiden, wurden alle MLM - Berechnungen im ersten Schritt mit der Dämpfung nach Norm, ohne jeglicher Zusatzdämpfungen, berechnet.

Wie in der Abbildung erkennbar ist, führt eine Beaufschlagung der Zusatzmasse zu einer Verminderung der Vertikalbeschleunigung bei gleichzeitiger Verschiebung der Resonanzgeschwindigkeit. So wurden im Laufe der Überfahrt des Railjet D1, schrittweise steigend, je 20 % der Brückenmasse in Form einer Gleichlast am Tragwerk angesetzt. Bei einer Gesamtmasse von 5548 kg/lfm konnte eine Vertikalbeschleunigung von 7,70 m/s² erreicht werden. Im Vergleich zu der Überfahrt nach DIM ist die Abweichung mit unter 1 % somit sehr gering. Die Problematik an dieser Vorgehensweise stellt die Verschiebung der Resonanzgeschwindigkeit der Überfahrt des MLM dar. Die Differenz der Resonanzgeschwindigkeit der Überfahrt nach MLM zur DIM beträgt etwa 20 %.

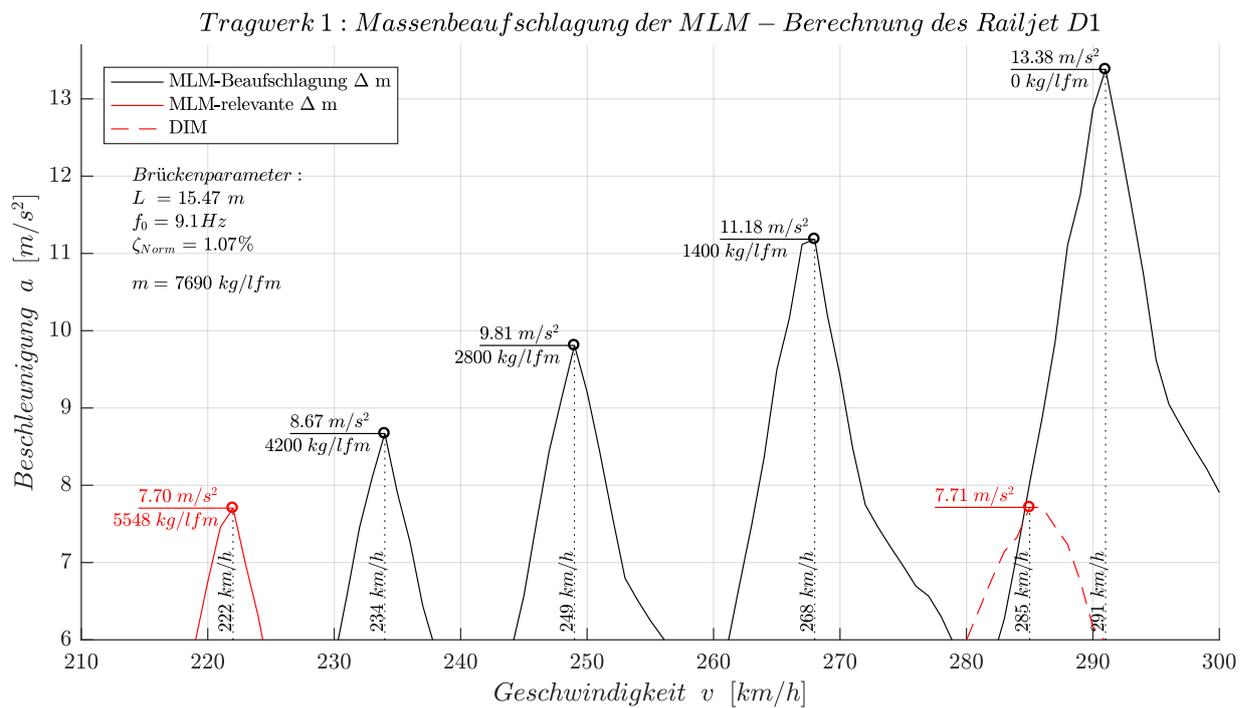


Abb. 5.1: Schritte der Beaufschlagung der Masse

5.2 Bestimmung der Zusatzmasse und Zusatzdämpfung

Um ein Überstimmen der Berechnung nach MLM und DIM in Hinblick auf die Vertikalbeschleunigung und Resonanzgeschwindigkeit zu erreichen, wurde sowohl die Masse, als auch die Dämpfung in der Berechnung nach MLM variiert. Abbildung 5.2 zeigt die Vorgehensweise an der Überfahrt des Railjet D1. Hier wurde im ersten Schritt eine Masse der Brücke beaufschlagt. Im Anschluss erfolgte die Änderung der Zusatzdämpfung. Zudem wurde die Zusatzmasse in der Berechnung stets aufrecht erhalten. Im Geschwindigkeitsverlauf der Vertikalbeschleunigung ist (analog zum vorherigen Unterpunkt) eine Verschiebung der Resonanzgeschwindigkeit und eine Verminderung der Beschleunigung infolge der Beaufschlagung einer Zusatzmasse erkennbar. Eine zusätzliche Dämpfung hat die Auswirkung, dass bis zu einem gewissen Grad der Beaufschlagung die Resonanzgeschwindigkeit erhalten bleibt. Somit folgt eine reine Verminderung der Vertikalbeschleunigung. Bei unverhältnismäßig großen Werten der Dämpfung konnte eine gleichzeitige Verschiebung der Resonanzgeschwindigkeit festgestellt werden, was jedoch in diesem Fall nicht zutrifft. Im vorliegenden Geschwindigkeitsverlauf ist eine Übereinstimmung der Spitze der Vertikalbeschleunigung, bei gleicher kritischen Überfahrungs geschwindigkeit, zum DIM gegeben.

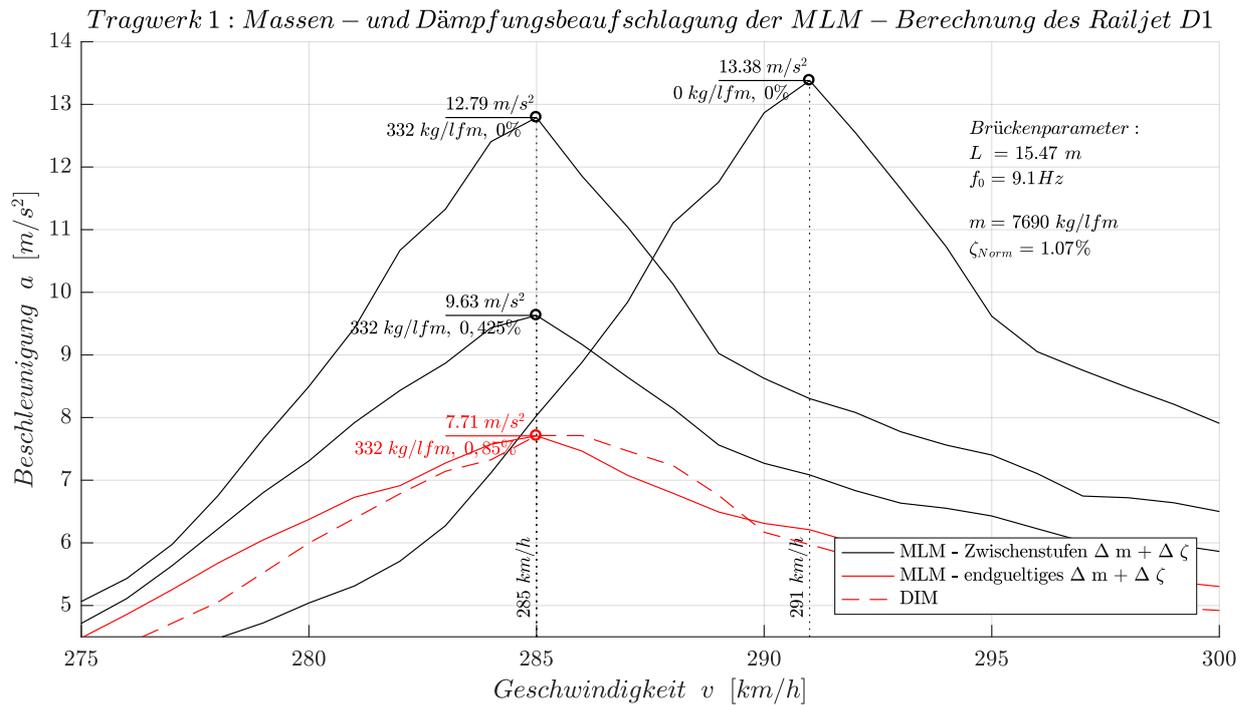


Abb. 5.2: Schritte der Beaufschlagung der Masse und Dämpfung

Im nächsten Schritt wurde die Reihenfolge der Beaufschlagung der Zusatzmasse und Zusatzdämpfung umgekehrt. Abbildung 5.3 zeigt diesen Fall, anhand der Überfahrt des Railjet D1. Hier wurde zuerst die Dämpfung des Tragwerks in Schritten erhöht und danach die Zusatzmasse dem Tragwerk aufgeschlagen.

In Abb. 5.3 ist je ein Verlauf für die 1,4 - fache und 1,8 - fache Dämpfung nach Norm sichtbar. Daran anknüpfend erfolgte die Beaufschlagung der Zusatzmasse. Hier führte derselbe Wert, von 332 kg/lfm zu einer genauen Übereinstimmung der Überfahrt nach MLM zur DIM.

Somit kann der Algorithmus bzgl. Reihenfolge der Beaufschlagung der Zusatzmasse und Dämpfung beliebig gewählt werden - um schlussendlich eine Übereinstimmung der Beschleunigung und Resonanzgeschwindigkeit zu erreichen.

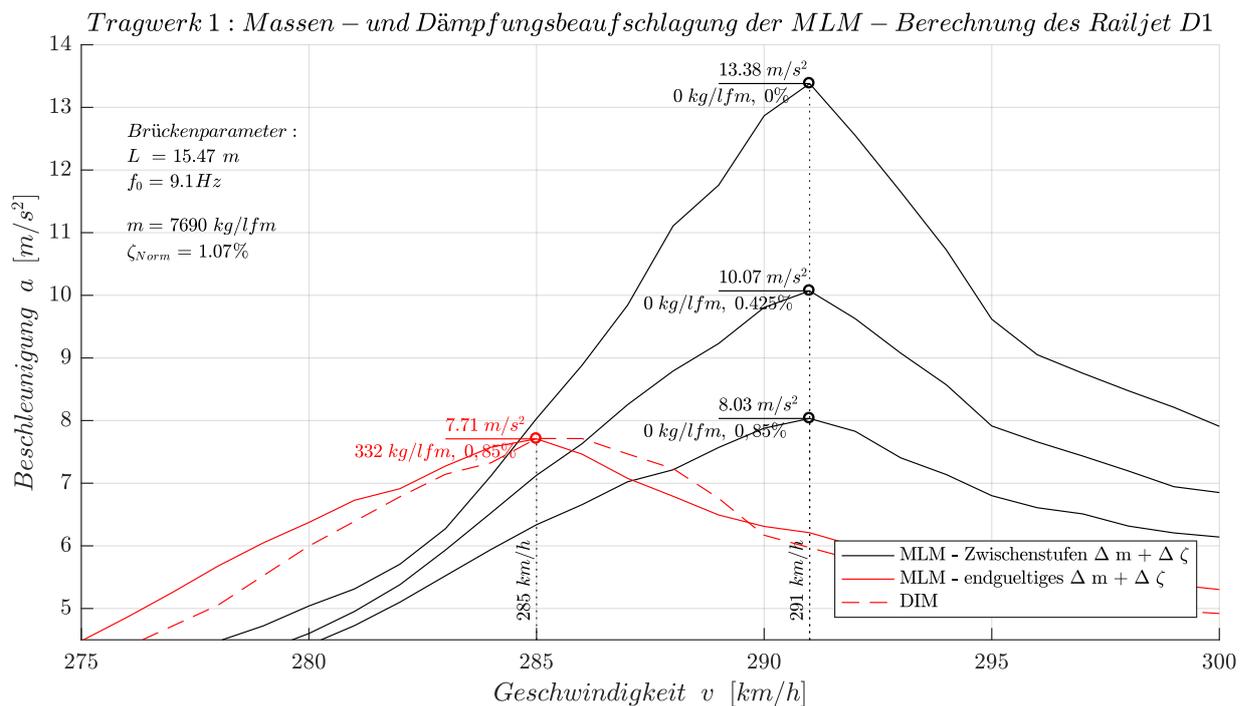


Abb. 5.3: Schritte der Beaufschlagung der Dämpfung und Masse

5.3 Auswertung an definierten Brückentragwerken

In diesem Unterpunkt werden die Brückentragwerke durch Variation der Massen und Dämpfungen, gemäß *Kapitel 5.1* und *Kapitel 5.2*, an den Überfahrten der drei Zugtypen untersucht. Die Auswahl der Brücken erfolgte anhand der in *Kapitel 3* angeführten Tragwerke. Die Auswertung beschränkt sich somit auf Brücken mit Spannweiten von 2,4 m bis 33,3 m.

Abbildung 5.4 zeigt die Auswertung der erforderlichen Zusatzmasse (analog zum *Kapitel 5.1*) in Bezug auf den untersuchten Spannweitenbereich. Die Abbildung sieht eine Trennung der drei Zugtypen (ICE 4, Railjet und EC 250) vor. Eine Ausgleichskurve, in Form einer Spline, glättet die einzelnen Punktauswertungen (Tragwerke) und kennzeichnet somit die mittlere erforderliche Zusatzmasse.

Abb. 5.5 und 5.6 stellen die Auswertung der erforderlichen Zusatzmasse und Zusatzdämpfung (analog zum *Kapitel 5.2*) bezogen auf den Spannweitenbereich dar. Die Ausgleichskurve stellt auch diesem Fall den Verlauf der mittleren erforderlichen Zusatzmasse und Zusatzdämpfung des Zugtyps dar.

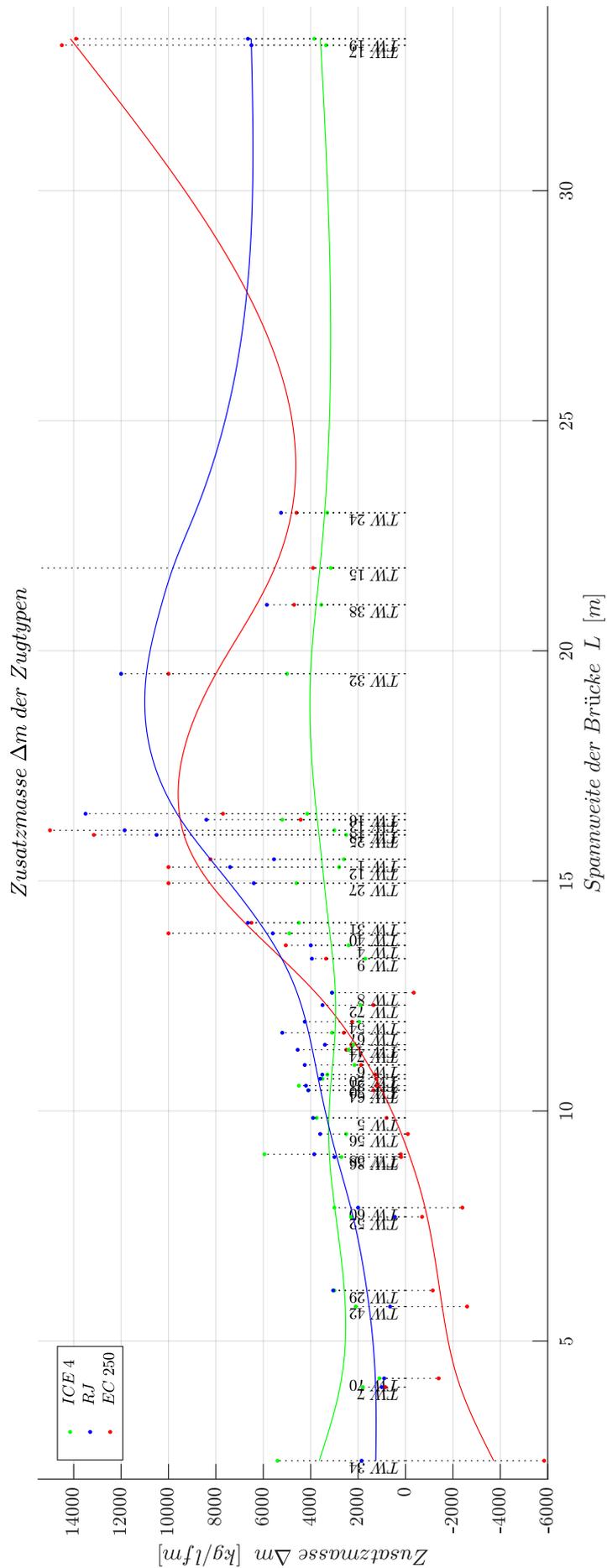


Abb. 5.4: Zusatzmasse der Brückentragwerke

5.3.1 Interpretation des Differenzvektors der reinen Zusatzmasse

Dieser Unterpunkt dient der Analyse der Auswertung der Zusatzmassen ohne Zusatzdämpfungen an Brückentragwerken.

In Abbildung 5.4 wurden nur Zusatzmassen den Brücken aufgeschlagen, um dieselbe Vertikalbeschleunigung der Überfahrten nach MLM zur DIM zu erreichen. In dieser Grafik sind alle Zugtypen erfasst. Um etwaige Sprünge zu glätten, wurden Ausgleichsfunktionen gebildet.

Der Verlauf der erforderlichen Zusatzmasse der Überfahrten des Zugtyps **ICE 4** nimmt im Spannweitenbereich von 2,4 m bis 33,3 m im Mittel konstante Werte von 3000 kg/lfm an.

Berechnung der Überfahrten des **Railjets** ergibt für Spannweiten von 2,4 m bis 13,0 m eine lineare Steigerung der Zusatzmasse. Tragwerke mit 2,4 m Spannweite benötigen eine Zusatzmasse von 1500 kg/lfm . Bis 13 m Brückenlänge erfolgt die Steigerung der zusätzlichen Masse auf 5000 kg/lfm . Für größere Spannweiten bis 20,0 m erhöht sich die Zusatzmasse auf etwa 12000 kg/lfm . Danach folgt, gleichmäßig abfallend, eine erforderliche Zusatzmasse für Tragwerke mit 33,3 m Länge von 6000 kg/lfm .

Bei den Überfahrten des untersuchten **EC 250** zeichnet sich eine ähnliche Kurve zu den Überfahrten des Railjets ab. Jedoch muss bei den kürzeren Tragwerken (2,4 m) rechnerisch Masse von etwa 4000 kg/lfm abgezogen werden, um ein Übereinstimmen der Beschleunigung der Überfahrt des MLM zur DIM zu erreichen. Bei 13 m Spannweite beträgt die Zusatzmasse 4000 kg/lfm . Im Spannweitenbereich von 16,5 m erhöht sich die Zusatzmasse auf 10000 kg/lfm . Im Anschluss fällt die Kurve der erforderlichen Zusatzmasse für Brücken mit Spannweiten von 23,0 m auf 4500 kg/lfm ab. Für Tragwerke mit Längen von 33,3 m steigt die Zusatzmasse auf 14000 kg/lfm an.

Aufgrund der Abweichung der Resonanzgeschwindigkeit der Berechnungsmodelle gibt die nachfolgende Tabelle 5.1 den Mittelwert der Abweichungen der Resonanzgeschwindigkeiten der MLM zur DIM Berechnung aller drei Zugtypen an.

Tab. 5.1: Abweichungen der Resonanzgeschwindigkeiten des MLM zum DIM

ICE 4	Railjet	EC 250
12,6 %	10,8 %	16,9 %

Schlussfolgerung:

Aufgrund der hohen Abweichung der Resonanzgeschwindigkeiten ist eine reine Beaufschlagung von Δm nicht sinnvoll, um realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten.

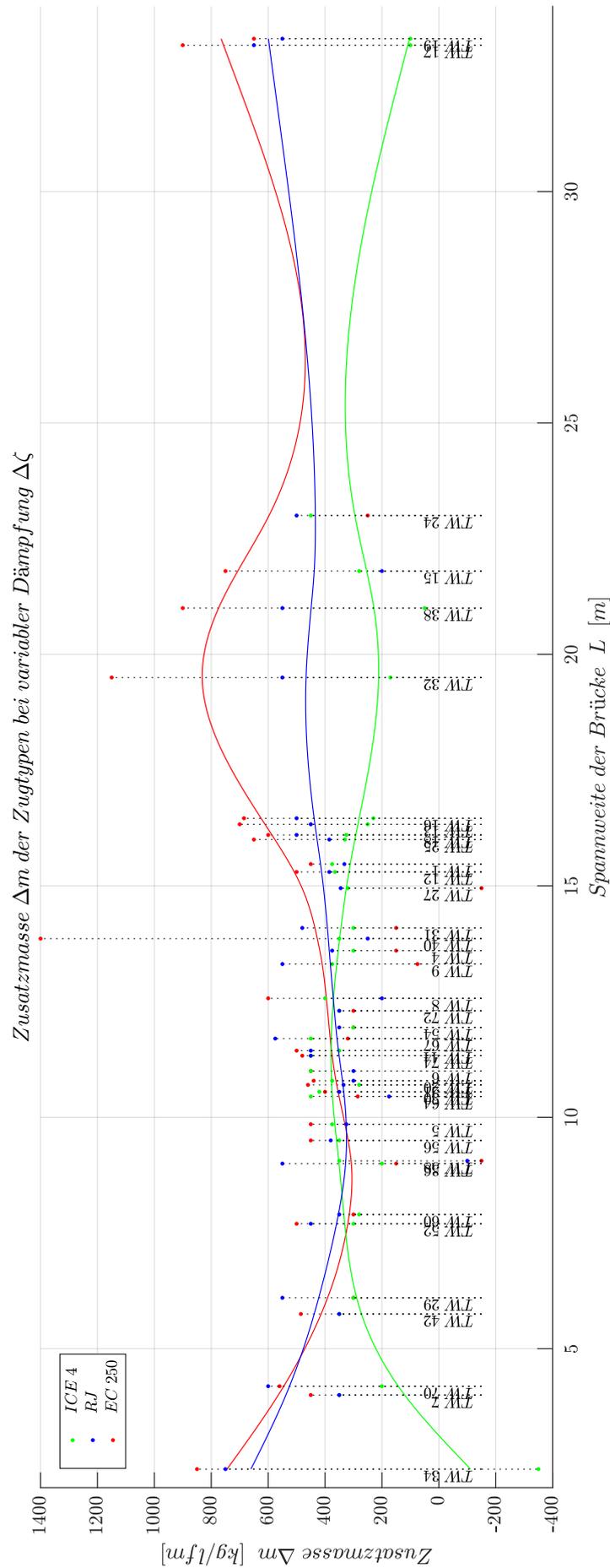


Abb. 5.5: Zusatzmasse bei variabler Dämpfung

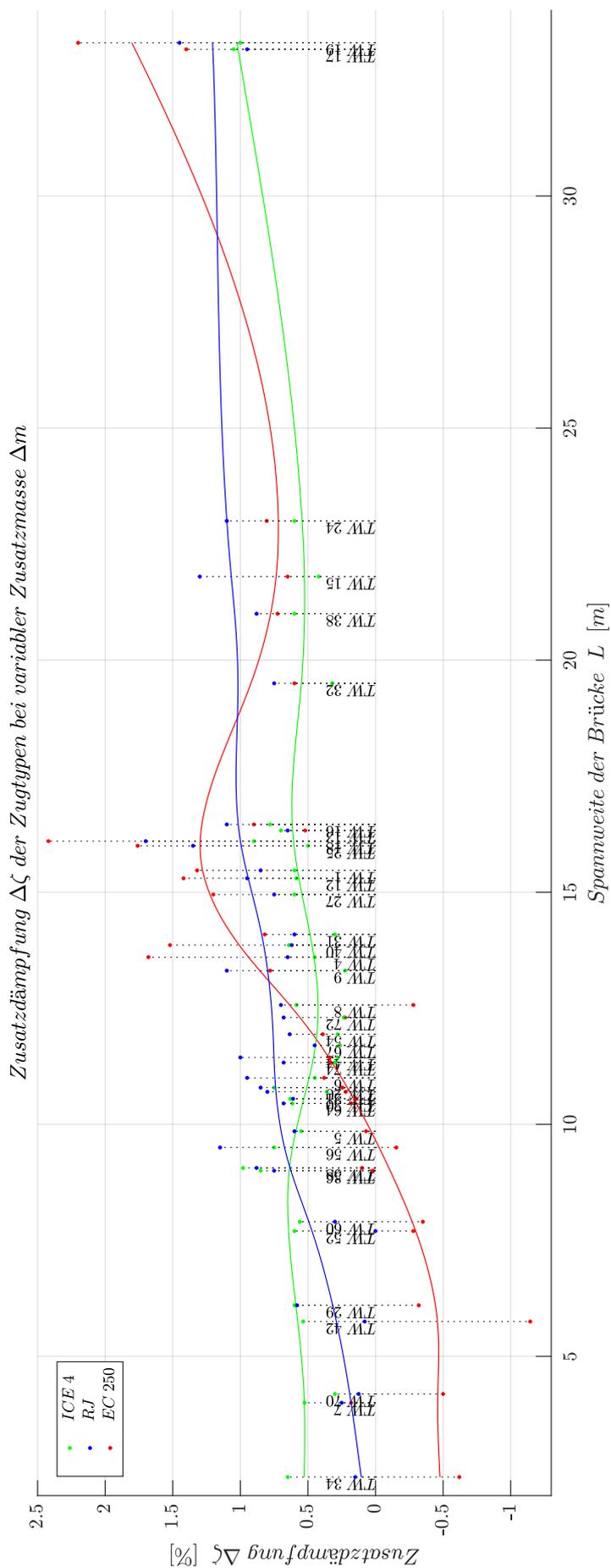


Abb. 5.6: Zusatzdämpfung bei variabler Zusatzmasse

5.3.2 Interpretation des Differenzvektors der Zusatzmasse bei variabler Zusatzdämpfung

In Abb. 5.5 wurde den Tragwerken einerseits eine Zusatzmasse aufgeschlagen. Andererseits wurde der Berechnung zugleich eine Zusatzdämpfung zu Grunde gelegt, welche in Abb. 5.6 erkennbar ist. Somit kann ein Übereinstimmen der Vertikalbeschleunigung und zugehöriger Geschwindigkeit des MLM zum DIM erreicht werden.

Zusatzmasse:

Die Auswertung der Überfahrten der **ICE 4** ergab für Brücken mit Spannweiten von 2,4 m einen erforderlichen Massenabzug von etwa 100 kg/lfm . Für Brücken mit 7,0 m Spannweite steigt die erforderliche Zusatzmasse auf 350 kg/lfm an. Die Auswertung der erforderlichen Zusatzmasse des **Railjets** und **EC 250** ergab für Tragwerke von 2,4 m Spannweite einen Wert von etwa 700 kg/lfm . Danach sinkt die erforderliche Zusatzmasse bei 7,0 m Spannweite auf 350 kg/lfm .

Für alle Zugtypen ergab die Auswertung im Spannweitenbereich von 7 m bis 13 m eine erforderliche Zusatzmasse von 350 kg/lfm . Ab diesem Punkt ist eine Aufspaltung der Zugtypen erkennbar. So sind für die Überfahrten der **ICE 4** abfallende Funktionswerte der Zusatzmasse feststellbar. Der Wert sinkt für Tragwerke von 19,5 m Länge auf 200 kg/lfm . Bei den Überfahrten des **Railjets** ist eine geringe Steigerung der Ausgleichskurve auf 450 kg/lfm , für 19,5 m Brückenlänge, erkennbar. In den Überfahrten des **EC 250** ist eine deutliche Steigerung der erforderlichen Zusatzmasse auf 1000 kg/lfm feststellbar.

Für Brücken mit 23,0 m Spannweite der Konfiguration des **ICE 4** steigt die erforderliche Zusatzmasse, vergleichend zu Tragwerken mit 19,0 m Länge, auf 400 kg/lfm an. Tragwerke mit Spannweiten von 33,3 m benötigen hingegen eine Zusatzmasse von etwa 100 kg/lfm . Für die Überfahrten des **Railjets** ist eine Verringerung der Zusatzmasse ab 19,5 m Spannweite erkennbar. Der Wert der erforderlichen Zusatzmasse beträgt bei einer Brückenlänge von 23,0 m 400 kg/lfm . An Tragwerken mit Spannweiten von 33,3 m ist eine Zusatzmasse von etwa 600 kg/lfm aufzuschlagen. Weiters ist auch anhand der Überfahrten des **EC 250** eine gleichmäßige Verringerung der erforderlichen Zusatzmassen ab 19,5 m Spannweite feststellbar. Bei 23,0 m Spannweite ist eine Zusatzmasse von etwa 300 kg/lfm erforderlich. Tragwerke mit Spannweiten von 33,3 m benötigen eine Zusatzmasse von etwa 700 kg/lfm .

Zusatzdämpfung:

Nun folgt die Auswertung der Zusatzdämpfung entlang der Spannweiten der untersuchten Brücken. Hier ist für die Überfahrten des **ICE 4** eine durchschnittlich erforderliche Zusatzdämpfung im gesamten Spannweitenbereich (2,4 m - 33,3 m) von 0,55 % erforderlich, um eine Übereinstimmung in den Vertikalbeschleunigungen und zugehörigen Geschwindigkeiten der verschiedenen Berechnungsmodelle zu erreichen.

Für die Überfahrten des **Railjet** ist eine zusätzliche Dämpfung an Tragwerken mit 2,4 m Spannweite von 0,20 % erforderlich. In linearer Steigerung erhöht sich der Wert bei 10,0 m Brückenlänge auf 0,60 %. In weiterer Folge erhöht sich die erforderliche Zusatzdämpfung für Brücken mit Spannweiten von 23,0 m auf 1,00 %. Danach ist ein konstanter Wert der Zusatzdämpfung bis 33,3 m Spannweite von 1,00 % feststellbar.

Die Überfahrten des **EC 250** zeichnen sich mit einer erforderlichen Zusatzdämpfung von -0,50 % für Tragwerke mit 2,4 m bis 6,1 m Spannweite ab. Danach erfolgt eine gleichmäßige Steigerung der erforderlichen Zusatzdämpfung bis 15,0 m Spannweite auf 1,25 %. Der Wert der Zusatzdämpfung steigt danach für den **EC 250**, bei 23,0 m Spannweite auf etwa 0,75 % an. In weiterer Folge erhöht sich die erforderliche Zusatzdämpfung für 33,3 m Brückenlänge auf etwa 1,75 %.

5.3.3 Allgemeine Empfehlung der Zusatzmasse und Zusatzdämpfung

Die nachfolgenden Abbildungen 5.7 - 5.8 zeigen die allgemeinen Empfehlungen der Zusatzmassen und Zusatzdämpfungen. Diese resultieren aus den im vorherigen Unterkapitel (*Kapitel 5.3.2*) untersuchten Tragwerken. Da im Spannweitenbereich von 23,0 m bis 33,16 keine Brücken untersucht wurden, kann somit nur eine Empfehlung im Spannweitenbereich von 2,4 - 23,0 m abgegeben werden.

Empfohlene Zusatzmasse:

Abbildung 5.7 stellt den Spannweitenverlauf der empfohlenen Zusatzmasse dar. Meine Empfehlung sieht für die Überfahrten des **ICE 4** einen Massenabzug von 100 kg/lfm für Brücken mit einer Länge von 2,4 m vor. Bis 7,0 m steigt die erforderliche Zusatzmasse auf 300 kg/lfm , welche bis 13,0 m konstant bleibt. Danach erfolgt eine gleichmäßige Verringerung der zusätzlichen Masse auf 200 kg/lfm , bis zu einer Spannweite von 20,0 m. In weiterer Folge erhöht sich die Zusatzmasse für Brückenzlängen von 23,0 m auf 400 kg/lfm .

Als Empfehlung der Überfahrten des **Railjets** erscheint mir für Tragwerke mit Längen von 2,4 m eine zusätzliche Masse von 650 kg/lfm als sinnvoll. Die erforderliche Masse sinkt linear für Spannweiten von 7,0 m auf 300 kg/lfm . Danach hat sich, wie schon für den ICE 4, eine erforderliche Zusatzmasse von 300 kg/lfm im Spannweitenbereich von 7,0 - 13,0 m als sinnvoll abgezeichnet. Im Anschluss erfolgt eine Steigung der Zusatzmasse für 20,0 m Brückenzlänge auf 450 kg/lfm . Danach ist der erforderliche Wert der zusätzlichen Masse für Brücken mit Spannweiten von 23,0 m auf 400 kg/lfm gleichmäßig abfallend.

Die Empfehlung der Zusatzmasse der Überfahrten des **EC 250** sieht einen ähnlichen Verlauf zu dem des Railjets vor. Hier ist die erforderliche zusätzliche Masse für Brücken mit 2,4 m Spannweite 750 kg/lfm . Der Wert der Zusatzmasse sinkt für Tragwerke mit 7,0 m Spannweite auf 300 kg/lfm , welcher auch hier im Anschluss für Tragwerke bis 13,0 m Länge konstant bleibt. Danach erfolgt eine lineare Steigerung der erforderlichen Zusatzmasse auf 850 kg/lfm für Brückenzlängen von 20,0 m. Zuletzt sinkt der Wert der erforderlichen Zusatzmasse auf 400 kg/lfm für Tragwerke mit 23,0 m Spannweite.

Empfohlene Zusatzdämpfung:

In Abbildung 5.8 ist der Spannweitenverlauf der empfohlenen Zusatzdämpfung dargestellt. Meine Empfehlung für die Überfahrten des **ICE 4** im Spannweitenbereich von 2,4 - 23,0 m hat, aufgrund der Untersuchungen, eine erforderliche zusätzliche Dämpfung von 0,55 % ergeben. Für die Überfahrten des **Railjet** sollte an Tragwerken mit 2,4 m Länge eine Zusatzdämpfung von 0,20 % angesetzt werden. In linearer Steigerung ist eine Zusatzdämpfung bei 10,0 m Brückenzlänge von 0,60 % und bei 17,0 m von 1,00 %, zur Übereinstimmung der Ergebnisse mit dem DIM, zielführend. Danach bleibt die zusätzliche Dämpfung bis 23,0 m Spannweite der Brücke auf 1,00 % konstant. Für die Berechnung der Überfahrten des **EC 250** ist von 2,4 - 6,1 m Brückenzlänge ein konstanter Wert der Zusatzdämpfung von 0,50 % erforderlich. Danach steigt die erforderliche zusätzliche Dämpfung linear auf 1,25 % für Spannweiten von 15,0 m. Anschließend verringert sich die erforderliche Zusatzdämpfung für Tragwerke von 21,0 - 23,0 m auf 0,75 %.

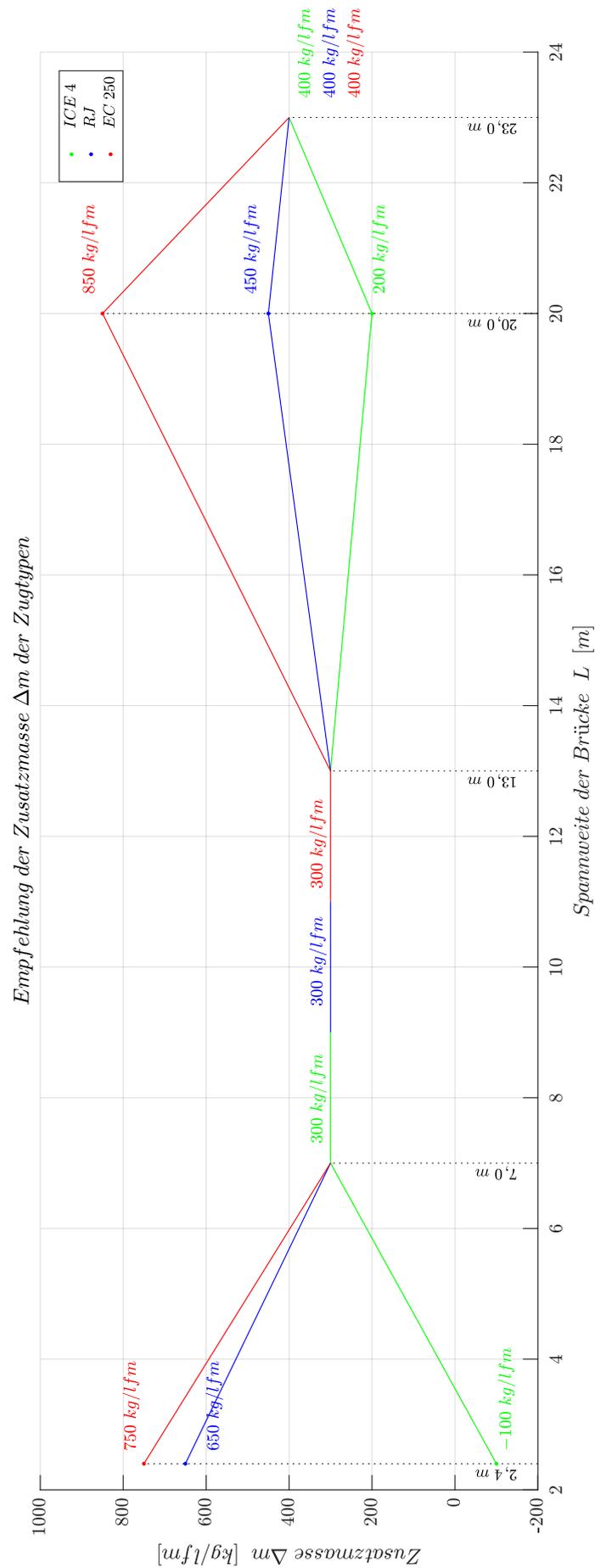


Abb. 5.7: Allgemeine Empfehlung der Zusatzmasse bei variabler Zusatzdämpfung

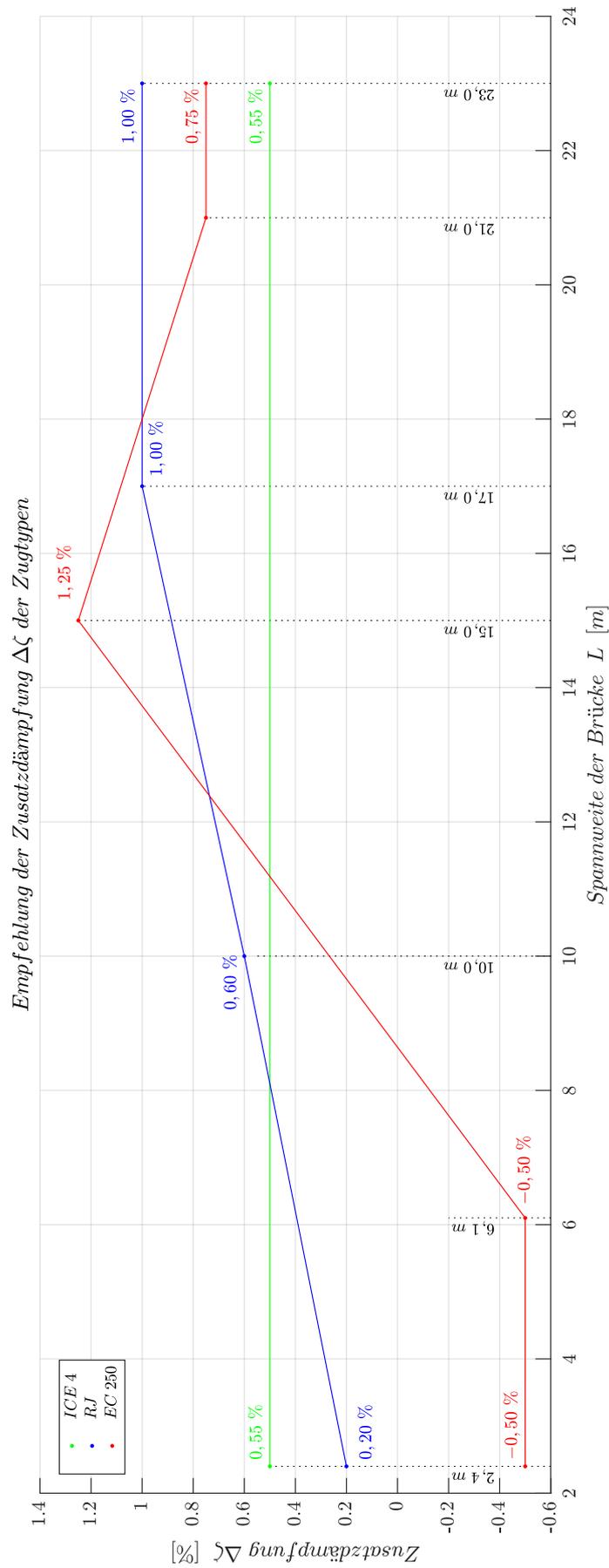


Abb. 5.8: Allgemeine Empfehlung der Zusatzdämpfung bei variabler Zusatzmasse

Kapitel 6

Schlussfolgerung und Ausblick

Zum Abschluss der Arbeit werden die in der Einleitung aufgestellten Forschungsfragen zusammenfassend thematisiert.

Frage 1:

- Sind bestehende Rechenmodelle durch Änderung der Eingangsparameter in der Lage, die Ergebnisse der komplexeren Mehrkörpersysteme realitätsnah abzubilden? Hier sollen möglichst einfache Ansätze gebildet werden, die für alle Zugtypen angewendet werden können.

Diese Frage kann einerseits bejaht werden, da sich durch Simulation der Überfahrten mit dem *moving load model* im *Kapitel 5* herausstellte, dass eine Übereinstimmung der Werte der Vertikalbeschleunigung und Resonanzgeschwindigkeit erreicht werden kann. Andererseits kann jedoch mittels einfachen Ansätzen, die aus den Zugmassen und Geometrien abgeleitet werden, keine Treffsicherheit für alle untersuchten Brückenarten und Längen erreicht werden. Dies führt dazu, dass kein Ansatz mit ausreichender Sicherheit pauschal für jeden Zugtyp und jede Spannweite angewendet werden kann. Wie schon im *Kapitel 4.3.2* erläutert, sind für einzelne Brückenlängen in Bezug auf den Zugtyp, Empfehlungen der untersuchten Rechenansätze des *moving load model*, die das *detailed interaction model* realitätsnahe abbilden, möglich.

In Abhängigkeit der Spannweite der Brücken folgt eine Auflistung der aus dieser Arbeit resultierenden Empfehlungen. Diese Ansätze bilden die Vertikalbeschleunigung und zugehörige Geschwindigkeit in guter Näherung zur Berechnung nach DIM ab. Für die längeren Tragwerke (je nach Zugtyp ab etwa 15 - 24 m) sind aufgrund von unzutreffenden Beschleunigungswerten keine allgemeinen Grundsätze eines Berechnungsansatzes ableitbar.

Die empfohlenen Ansätze sind nach Zugtypen geordnet, in Tab. 6.1, angegeben:

Tab. 6.1: Empfehlungen der Ansätze nach *moving load model*

Zugtyp	Spannweite	Rechenansatz
ICE 4	bis 10 m	Ansatz 3
	10 m bis 16 m	klassisches MLM
Railjet	bis 10 m	Ansatz 2
	10 m bis 15 m	Ansatz 4
EC 250	bis 12,5 m	Ansatz 2
	12,5 m bis 24 m	Ansatz 1

Frage 2:

- Durch Anpassung welcher Parameter kann der exakte Differenzvektor zwischen den beiden Modellen erzeugt werden, falls keine realitätsnahe Lösung ableitbar ist?

Wie schon in der Antwort der ersten Frage erwähnt, kann der exakte Differenzvektor der Berechnung nach MLM und DIM gebildet werden. Dafür sind zwei Schritte erforderlich. Einerseits muss, um ein Übereinstimmen der Resonanzgeschwindigkeit zu erreichen, der Brückenmasse eine zusätzliche Masse in Form einer Streckenlast aufgeschlagen werden. Andererseits wird der Wert der Vertikalbeschleunigung durch Variation der Dämpfung derart verschoben, dass eine exakte Übereinstimmung der Spitzen erfolgt.

Somit kann ein Differenzvektor zwischen MLM und DIM bestimmt werden.

Ausblick:

In der vorliegenden Arbeit wurden die Überfahrten verschiedener Zugtypen an 75 Brückentragwerken untersucht. Zu diesen zählen Konfigurationen des ICE 4, Railjet und EC 250. Um den einfachen Berechnungsansatz der Abfolge von Einzelkräften (MLM) dem DIM anzunähern, wurden verschiedene Ansätze des MLM formuliert und im Anschluss dem DIM gegenübergestellt. Die Auswertung der Verhältnisse der Beschleunigungsspitzen zeigte, dass keine allgemeine Aussage für alle Tragwerke getroffen werden kann. Für Teilabschnitte in Form von Spannweiten können sehr wohl Empfehlungen abgegeben werden.

Um weitere Faktoren auszuschließen, die zu Sprüngen in der Auswertung führen können, wären eventuell noch zusätzliche Untersuchungen von Interesse. Hierbei sollte auf die Beaufschlagung der Zusatzdämpfung (vor allem im Spannweitenbereich von 10 m - 20 m), die nach Norm vorgesehen wird, verzichtet werden. Im Gesamtvergleich haben sich in diesem Bereich Unregelmäßigkeiten in der Auswertung abgezeichnet.

Zum Abschluss der Arbeit wurde für ausgewählte Tragwerke je ein Differenzvektor zwischen der Berechnung nach MLM zur DIM erarbeitet. Hier wurden die Spitzenwerte der Beschleunigung, die der Auswertung zugrunde lagen, für eine Konfiguration aller drei Zugtypen untersucht. Als Ergebnis konnte eine exakte Annäherung der Spitzen der verschiedenen Rechenmodelle festgestellt werden.

Als Ausblick für weitere Untersuchungen könnte die Betrachtung des gesamten Geschwindigkeitsverlaufes der Vertikalbeschleunigung von Interesse sein, um eine realitätsnahe Erfassung aller Spitzen entlang des Geschwindigkeitsverlaufes sicherzustellen. Des Weiteren wäre zur Verbesserung der Aussagekraft dieser Studie eine Simulation mehrerer Zugkonfigurationen sinnvoll.

Die Diagramme aus *Seite 72 - 73* (Abb. 5.7 - 5.8) gelten für die in dieser Arbeit untersuchten Tragwerke. Für eine allgemeine Empfehlung, im Sinne einer Richtlinie oder Normvorschrift, müssen die Ergebnisse mittels weiterführender Kontrollrechnungen abgesichert werden. Dies kann beispielsweise mittels Parameterfeldern für Tragwerke erfolgen, sodass alle praktisch relevanten Verhältnisse von L , n_0 , EI und μ abgedeckt sind. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit zu schließen, scheint es möglich, einfache Verläufe für Δm und $\Delta \zeta$ zu erhalten, die für alle Einfeldträgertragwerke gültig sind.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Anhang A

Die in der Spalte **TW Typ** vorkommenden Zahlen stehen für folgende Tragwerke:

- 1 Stahl Deckbrücke
- 2 Plattenbrücke
- 3 WIB Tragwerk
- 4 Verbund Deckbrücke

Tab. A.1: Brückentragwerke gem. TU Datenbank

TW Nr.	TW Typ	Länge [m]	EA_{zz} [N/m^2]	Masse [kg/m]	f_0 [Hz]	ζ_{Norm} [%]	$\Delta\zeta$ [%]
1	1	15,47	1,48e10	7690	9,10	1,07	0,65
2	1	15,47	1,82e10	9490	9,10	1,07	0,65
3	1	15,47	1,58e10	8210	9,10	1,07	0,65
4	1	13,60	1,05e10	8080	9,70	1,30	0,6
5	2	9,85	5,40e10	16370	9,30	2,21	0,32
6	1	11,00	4,23e9	8600	9,80	1,63	0,4
7	3	4,00	1,40e9	11510	32,40	2,62	0,08
8	1	12,57	8,67e9	9700	9,40	1,43	0,52
9	1	13,31	1,35e10	16260	8,10	1,34	0,58
10	2	2,90	8,62e8	12270	29,10	2,70	0,06
11	2	2,90	7,32e8	10490	29,10	2,70	0,06
12	1	15,30	1,23e10	9080	7,80	1,09	0,65
13	2	16,33	1,41e10	22140	4,69	1,76	0,62
14	2	16,33	1,26e10	21440	4,51	1,76	0,62
15	1	21,80	4,80e10	11350	6,80	0,50	0,18
16	4	16,46	1,02e10	12900	5,16	0,94	0,61
17	4	33,16	6,42e10	12390	3,25	0,50	0
18	1	16,10	6,86e9	7620	5,75	0,99	0,63
19	1	33,30	4,66e10	7890	3,44	0,50	0
20	1	10,79	4,62e9	7770	10,40	1,65	0,38
21	1	10,70	4,85e9	8440	10,40	1,66	0,38
22	2	9,05	4,17e9	19470	8,88	2,27	0,27
23	2	9,05	8,79e9	17310	12,66	2,27	0,27
24	2	23,00	4,16e10	21400	4,14	2,27	0,12
25	1	16,00	1,01e10	8690	6,63	1,00	0,64
26	1	16,00	1,01e10	8690	6,63	1,00	0,64
27	2	14,95	1,54e10	23270	5,72	1,85	0,65

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.1: Brückentragwerke gem. TU Datenbank (Fortsetzung)

TW Nr.	TW Typ	Länge [m]	EA_{zz} [N/m^2]	Masse [kg/m]	f_0 [Hz]	ζ_{Norm} [%]	$\Delta\zeta$ [%]
28	2	14,95	2,38e10	22270	7,27	1,85	0,65
29	2	6,10	2,94e9	15050	18,65	2,47	0,14
30	2	6,10	3,45e9	19350	17,82	2,47	0,14
31	2	14,09	2,06e10	27070	6,90	1,91	0,62
32	2	19,50	5,03e10	30560	5,30	1,54	0,34
33	2	19,50	2,40e10	30560	3,66	1,54	0,34
34	2	2,40	4,79e8	38450	30,43	2,73	0,05
35	2	2,40	4,19e8	33510	30,50	2,73	0,05
36	3	9,00	1,05e10	11330	18,70	2,27	0,27
37	3	9,00	1,05e10	11330	18,70	2,27	0,27
38	2	21,00	1,71e10	18380	3,43	2,27	0,22
39	2	21,00	1,71e10	18330	3,44	2,27	0,22
40	2	13,86	1,40e10	21370	6,62	1,93	0,61
41	2	13,86	1,40e10	21370	6,62	1,93	0,61
42	2	5,75	7,55e8	10360	12,83	2,50	0,13
43	2	5,75	7,55e8	10360	12,83	2,50	0,13
44	2	11,44	7,98e9	16460	8,36	2,10	0,43
45	2	11,44	7,98e9	16460	8,36	2,10	0,43
46	2	5,75	7,98e8	10910	12,85	2,50	0,13
47	2	5,75	7,13e8	9800	12,81	2,50	0,13
48	2	5,75	7,98e8	10910	12,85	2,50	0,13
49	2	5,75	7,13e8	9800	12,81	2,50	0,13
50	2	10,55	8,42e9	17120	9,90	2,16	0,37
51	2	10,55	8,98e9	18250	9,90	2,16	0,37
52	3	7,70	3,14e9	11230	14,00	2,36	0,21
53	3	7,70	3,14e9	11230	14,00	2,36	0,21
54	2	11,94	8,25e9	17800	7,50	2,06	0,47
55	2	11,94	8,25e9	17800	7,50	2,06	0,47
56	3	9,50	5,24e9	12430	11,30	2,24	0,3
57	3	9,50	5,24e9	12430	11,30	2,24	0,3
58	2	9,06	1,14e10	20930	14,10	2,27	0,27
59	2	9,06	1,13e10	20830	14,10	2,27	0,27
60	2	7,90	1,17e10	20720	18,90	2,35	0,21
61	2	7,90	5,16e9	13920	15,30	2,35	0,21
62	2	11,00	8,76e9	21830	8,22	2,13	0,4
63	2	11,00	3,68e10	17370	18,90	2,13	0,4
64	2	10,45	7,15e9	16080	9,59	2,17	0,36
65	2	10,45	1,20e10	16350	12,30	2,17	0,36
66	2	10,45	1,00e10	24650	9,18	2,17	0,36
67	3	11,70	1,43e10	28060	8,20	2,08	0,45
68	3	11,70	1,43e10	28060	8,20	2,08	0,45
69	2	11,70	7,15e9	13990	8,20	2,08	0,45
70	3	4,19	7,90e8	11070	23,90	2,61	0,09
71	3	4,19	7,90e8	11070	23,90	2,61	0,09

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.1: Brückentragwerke gem. TU Datenbank (Fortsetzung)

TW Nr.	TW Typ	Länge [m]	EA_{zz} [N/m^2]	Masse [kg/m]	f_0 [Hz]	ζ_{Norm} [%]	$\Delta\zeta$ [%]
72	2	12,30	1,06e10	17490	8,10	2,04	0,5
73	2	12,30	1,02e10	16740	8,10	2,04	0,5
74	2	11,33	8,75e9	17710	8,60	2,11	0,42
75	2	11,33	8,75e9	17710	8,60	2,11	0,42

Tab. A.2: Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der ICE · 4 und Railjet Konfigurationen

TW Nr.	ICE 4-1, 2 [kg/lfm]	ICE 4-3, 5, 6 [kg/lfm]	ICE 4-4 [kg/lfm]	ICE 4-7, 8 [kg/lfm]	RJ-A1, B1 [kg/lfm]	RJ-A2, B2 [kg/lfm]	RJ-C1, D1 [kg/lfm]
1	7951,2	7946,5	7937,5	7956,4	8012,1	8002,5	8012,4
2	9751,2	9746,5	9737,5	9756,4	9812,1	9802,5	9812,4
3	8471,2	8466,5	8457,5	8476,4	8532,1	8522,5	8532,4
4	8341,2	8336,5	8327,5	8346,4	8402,1	8392,5	8402,4
5	16631,2	16626,5	16617,5	16636,4	16692,1	16682,5	16692,4
6	8861,2	8856,5	8847,5	8866,4	8922,1	8912,5	8922,4
7	11771,2	11766,5	11757,5	11776,4	11832,1	11822,5	11832,4
8	9961,2	9956,5	9947,5	9966,4	10022,1	10012,5	10022,4
9	16521,2	16516,5	16507,5	16526,4	16582,1	16572,5	16582,4
10	12531,2	12526,5	12517,5	12536,4	12592,1	12582,5	12592,4
11	10751,2	10746,5	10737,5	10756,4	10812,1	10802,5	10812,4
12	9341,2	9336,5	9327,5	9346,4	9402,1	9392,5	9402,4
13	22401,2	22396,5	22387,5	22406,4	22462,1	22452,5	22462,4
14	21701,2	21696,5	21687,5	21706,4	21762,1	21752,5	21762,4
15	11611,2	11606,5	11597,5	11616,4	11672,1	11662,5	11672,4
16	13161,2	13156,5	13147,5	13166,4	13222,1	13212,5	13222,4
17	12651,2	12646,5	12637,5	12656,4	12712,1	12702,5	12712,4
18	7881,2	7876,5	7867,5	7886,4	7942,1	7932,5	7942,4
19	8151,2	8146,5	8137,5	8156,4	8212,1	8202,5	8212,4
20	8031,2	8026,5	8017,5	8036,4	8092,1	8082,5	8092,4
21	8701,2	8696,5	8687,5	8706,4	8762,1	8752,5	8762,4
22	19731,2	19726,5	19717,5	19736,4	19792,1	19782,5	19792,4
23	17571,2	17566,5	17557,5	17576,4	17632,1	17622,5	17632,4
24	21661,2	21656,5	21647,5	21666,4	21722,1	21712,5	21722,4
25	8951,2	8946,5	8937,5	8956,4	9012,1	9002,5	9012,4
26	8951,2	8946,5	8937,5	8956,4	9012,1	9002,5	9012,4
27	23531,2	23526,5	23517,5	23536,4	23592,1	23582,5	23592,4
28	22531,2	22526,5	22517,5	22536,4	22592,1	22582,5	22592,4
29	15311,2	15306,5	15297,5	15316,4	15372,1	15362,5	15372,4
30	19611,2	19606,5	19597,5	19616,4	19672,1	19662,5	19672,4
31	27331,2	27326,5	27317,5	27336,4	27392,1	27382,5	27392,4
32	30821,2	30816,5	30807,5	30826,4	30882,1	30872,5	30882,4
33	30821,2	30816,5	30807,5	30826,4	30882,1	30872,5	30882,4

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.2: Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der ICE · 4 und Railjet Konfigurationen (Fortsetzung)

TW Nr.	ICE 4-1, 2 [kg/lfm]	ICE 4-3, 5, 6 [kg/lfm]	ICE 4-4 [kg/lfm]	ICE 4-7, 8 [kg/lfm]	RJ-A1, B1 [kg/lfm]	RJ-A2, B2 [kg/lfm]	RJ-C1, D1 [kg/lfm]
34	38711,2	38706,5	38697,5	38716,4	38772,1	38762,5	38772,4
35	33771,2	33766,5	33757,5	33776,4	33832,1	33822,5	33832,4
36	11591,2	11586,5	11577,5	11596,4	11652,1	11642,5	11652,4
37	11591,2	11586,5	11577,5	11596,4	11652,1	11642,5	11652,4
38	18641,2	18636,5	18627,5	18646,4	18702,1	18692,5	18702,4
39	18591,2	18586,5	18577,5	18596,4	18652,1	18642,5	18652,4
40	21631,2	21626,5	21617,5	21636,4	21692,1	21682,5	21692,4
41	21631,2	21626,5	21617,5	21636,4	21692,1	21682,5	21692,4
42	10621,2	10616,5	10607,5	10626,4	10682,1	10672,5	10682,4
43	10621,2	10616,5	10607,5	10626,4	10682,1	10672,5	10682,4
44	16721,2	16716,5	16707,5	16726,4	16782,1	16772,5	16782,4
45	16721,2	16716,5	16707,5	16726,4	16782,1	16772,5	16782,4
46	11171,2	11166,5	11157,5	11176,4	11232,1	11222,5	11232,4
47	10061,2	10056,5	10047,5	10066,4	10122,1	10112,5	10122,4
48	11171,2	11166,5	11157,5	11176,4	11232,1	11222,5	11232,4
49	10061,2	10056,5	10047,5	10066,4	10122,1	10112,5	10122,4
50	17381,2	17376,5	17367,5	17386,4	17442,1	17432,5	17442,4
51	18511,2	18506,5	18497,5	18516,4	18572,1	18562,5	18572,4
52	11491,2	11486,5	11477,5	11496,4	11552,1	11542,5	11552,4
53	11491,2	11486,5	11477,5	11496,4	11552,1	11542,5	11552,4
54	18061,2	18056,5	18047,5	18066,4	18122,1	18112,5	18122,4
55	18061,2	18056,5	18047,5	18066,4	18122,1	18112,5	18122,4
56	12691,2	12686,5	12677,5	12696,4	12752,1	12742,5	12752,4
57	12691,2	12686,5	12677,5	12696,4	12752,1	12742,5	12752,4
58	21191,2	21186,5	21177,5	21196,4	21252,1	21242,5	21252,4
59	21091,2	21086,5	21077,5	21096,4	21152,1	21142,5	21152,4
60	20981,2	20976,5	20967,5	20986,4	21042,1	21032,5	21042,4
61	14181,2	14176,5	14167,5	14186,4	14242,1	14232,5	14242,4
62	22091,2	22086,5	22077,5	22096,4	22152,1	22142,5	22152,4
63	17631,2	17626,5	17617,5	17636,4	17692,1	17682,5	17692,4
64	16341,2	16336,5	16327,5	16346,4	16402,1	16392,5	16402,4
65	16611,2	16606,5	16597,5	16616,4	16672,1	16662,5	16672,4
66	24911,2	24906,5	24897,5	24916,4	24972,1	24962,5	24972,4
67	28321,2	28316,5	28307,5	28326,4	28382,1	28372,5	28382,4
68	28321,2	28316,5	28307,5	28326,4	28382,1	28372,5	28382,4
69	14251,2	14246,5	14237,5	14256,4	14312,1	14302,5	14312,4
70	11331,2	11326,5	11317,5	11336,4	11392,1	11382,5	11392,4
71	11331,2	11326,5	11317,5	11336,4	11392,1	11382,5	11392,4
72	17751,2	17746,5	17737,5	17756,4	17812,1	17802,5	17812,4
73	17001,2	16996,5	16987,5	17006,4	17062,1	17052,5	17062,4
74	17971,2	17966,5	17957,5	17976,4	18032,1	18022,5	18032,4
75	17971,2	17966,5	17957,5	17976,4	18032,1	18022,5	18032,4

Tab. A.3: Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der Railjet Konfigurationen

TW Nr.	RJ-C2,D2 [kg/lfm]	RJ-E1, F1 [kg/lfm]	RJ-E2 [kg/lfm]	RJ-F2 [kg/lfm]	RJ-G1 [kg/lfm]	RJ-G2 [kg/lfm]	RJ-H1 [kg/lfm]	RJ-H2 [kg/lfm]
1	8002,8	8011,5	8002,1	8002,4	8012,2	8002,4	8011,9	8002,8
2	9802,8	9811,5	9802,1	9802,4	9812,2	9802,4	9811,9	9802,8
3	8522,8	8531,5	8522,1	8522,4	8532,2	8522,4	8531,9	8522,8
4	8392,8	8401,5	8392,1	8392,4	8402,2	8392,4	8401,9	8392,8
5	16682,8	16691,5	16682,1	16682,4	16692,2	16682,4	16691,9	16682,8
6	8912,8	8921,5	8912,1	8912,4	8922,2	8912,4	8921,9	8912,8
7	11822,8	11831,5	11822,1	11822,4	11832,2	11822,4	11831,9	11822,8
8	10012,8	10021,5	10012,1	10012,4	10022,2	10012,4	10021,9	10012,8
9	16572,8	16581,5	16572,1	16572,4	16582,2	16572,4	16581,9	16572,8
10	12582,8	12591,5	12582,1	12582,4	12592,2	12582,4	12591,9	12582,8
11	10802,8	10811,5	10802,1	10802,4	10812,2	10802,4	10811,9	10802,8
12	9392,8	9401,5	9392,1	9392,4	9402,2	9392,4	9401,9	9392,8
13	22452,8	22461,5	22452,1	22452,4	22462,2	22452,4	22461,9	22452,8
14	21752,8	21761,5	21752,1	21752,4	21762,2	21752,4	21761,9	21752,8
15	11662,8	11671,5	11662,1	11662,4	11672,2	11662,4	11671,9	11662,8
16	13212,8	13221,5	13212,1	13212,4	13222,2	13212,4	13221,9	13212,8
17	12702,8	12711,5	12702,1	12702,4	12712,2	12702,4	12711,9	12702,8
18	7932,8	7941,5	7932,1	7932,4	7942,2	7932,4	7941,9	7932,8
19	8202,8	8211,5	8202,1	8202,4	8212,2	8202,4	8211,9	8202,8
20	8082,8	8091,5	8082,1	8082,4	8092,2	8082,4	8091,9	8082,8
21	8752,8	8761,5	8752,1	8752,4	8762,2	8752,4	8761,9	8752,8
22	19782,8	19791,5	19782,1	19782,4	19792,2	19782,4	19791,9	19782,8
23	17622,8	17631,5	17622,1	17622,4	17632,2	17622,4	17631,9	17622,8
24	21712,8	21721,5	21712,1	21712,4	21722,2	21712,4	21721,9	21712,8
25	9002,8	9011,5	9002,1	9002,4	9012,2	9002,4	9011,9	9002,8
26	9002,8	9011,5	9002,1	9002,4	9012,2	9002,4	9011,9	9002,8
27	23582,8	23591,5	23582,1	23582,4	23592,2	23582,4	23591,9	23582,8
28	22582,8	22591,5	22582,1	22582,4	22592,2	22582,4	22591,9	22582,8
29	15362,8	15371,5	15362,1	15362,4	15372,2	15362,4	15371,9	15362,8
30	19662,8	19671,5	19662,1	19662,4	19672,2	19662,4	19671,9	19662,8
31	27382,8	27391,5	27382,1	27382,4	27392,2	27382,4	27391,9	27382,8
32	30872,8	30881,5	30872,1	30872,4	30882,2	30872,4	30881,9	30872,8
33	30872,8	30881,5	30872,1	30872,4	30882,2	30872,4	30881,9	30872,8
34	38762,8	38771,5	38762,1	38762,4	38772,2	38762,4	38771,9	38762,8
35	33822,8	33831,5	33822,1	33822,4	33832,2	33822,4	33831,9	33822,8
36	11642,8	11651,5	11642,1	11642,4	11652,2	11642,4	11651,9	11642,8
37	11642,8	11651,5	11642,1	11642,4	11652,2	11642,4	11651,9	11642,8
38	18692,8	18701,5	18692,1	18692,4	18702,2	18692,4	18701,9	18692,8
39	18642,8	18651,5	18642,1	18642,4	18652,2	18642,4	18651,9	18642,8
40	21682,8	21691,5	21682,1	21682,4	21692,2	21682,4	21691,9	21682,8
41	21682,8	21691,5	21682,1	21682,4	21692,2	21682,4	21691,9	21682,8

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.3: Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der Railjet Konfigurationen (Fortsetzung)

TW Nr.	RJ-C2,D2 [kg/lfm]	RJ-E1, F1 [kg/lfm]	RJ-E2 [kg/lfm]	RJ-F2 [kg/lfm]	RJ-G1 [kg/lfm]	RJ-G2 [kg/lfm]	RJ-H1 [kg/lfm]	RJ-H2 [kg/lfm]
42	10672,8	10681,5	10672,1	10672,4	10682,2	10672,4	10681,9	10672,8
43	10672,8	10681,5	10672,1	10672,4	10682,2	10672,4	10681,9	10672,8
44	16772,8	16781,5	16772,1	16772,4	16782,2	16772,4	16781,9	16772,8
45	16772,8	16781,5	16772,1	16772,4	16782,2	16772,4	16781,9	16772,8
46	11222,8	11231,5	11222,1	11222,4	11232,2	11222,4	11231,9	11222,8
47	10112,8	10121,5	10112,1	10112,4	10122,2	10112,4	10121,9	10112,8
48	11222,8	11231,5	11222,1	11222,4	11232,2	11222,4	11231,9	11222,8
49	10112,8	10121,5	10112,1	10112,4	10122,2	10112,4	10121,9	10112,8
50	17432,8	17441,5	17432,1	17432,4	17442,2	17432,4	17441,9	17432,8
51	18562,8	18571,5	18562,1	18562,4	18572,2	18562,4	18571,9	18562,8
52	11542,8	11551,5	11542,1	11542,4	11552,2	11542,4	11551,9	11542,8
53	11542,8	11551,5	11542,1	11542,4	11552,2	11542,4	11551,9	11542,8
54	18112,8	18121,5	18112,1	18112,4	18122,2	18112,4	18121,9	18112,8
55	18112,8	18121,5	18112,1	18112,4	18122,2	18112,4	18121,9	18112,8
56	12742,8	12751,5	12742,1	12742,4	12752,2	12742,4	12751,9	12742,8
57	12742,8	12751,5	12742,1	12742,4	12752,2	12742,4	12751,9	12742,8
58	21242,8	21251,5	21242,1	21242,4	21252,2	21242,4	21251,9	21242,8
59	21142,8	21151,5	21142,1	21142,4	21152,2	21142,4	21151,9	21142,8
60	21032,8	21041,5	21032,1	21032,4	21042,2	21032,4	21041,9	21032,8
61	14232,8	14241,5	14232,1	14232,4	14242,2	14232,4	14241,9	14232,8
62	22142,8	22151,5	22142,1	22142,4	22152,2	22142,4	22151,9	22142,8
63	17682,8	17691,5	17682,1	17682,4	17692,2	17682,4	17691,9	17682,8
64	16392,8	16401,5	16392,1	16392,4	16402,2	16392,4	16401,9	16392,8
65	16662,8	16671,5	16662,1	16662,4	16672,2	16662,4	16671,9	16662,8
66	24962,8	24971,5	24962,1	24962,4	24972,2	24962,4	24971,9	24962,8
67	28372,8	28381,5	28372,1	28372,4	28382,2	28372,4	28381,9	28372,8
68	28372,8	28381,5	28372,1	28372,4	28382,2	28372,4	28381,9	28372,8
69	14302,8	14311,5	14302,1	14302,4	14312,2	14302,4	14311,9	14302,8
70	11382,8	11391,5	11382,1	11382,4	11392,2	11382,4	11391,9	11382,8
71	11382,8	11391,5	11382,1	11382,4	11392,2	11382,4	11391,9	11382,8
72	17802,8	17811,5	17802,1	17802,4	17812,2	17802,4	17811,9	17802,8
73	17052,8	17061,5	17052,1	17052,4	17062,2	17052,4	17061,9	17052,8
74	18022,8	18031,5	18022,1	18022,4	18032,2	18022,4	18031,9	18022,8
75	18022,8	18031,5	18022,1	18022,4	18032,2	18022,4	18031,9	18022,8

Tab. A.4: Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen

TW Nr.	EC 250-128 [kg/lfm]	EC 250-129-132 [kg/lfm]
1	8192,6	8181,9
2	9992,6	9981,9
3	8712,6	8701,9
4	8582,6	8571,9
5	16872,6	16861,9
6	9102,6	9091,9
7	12012,6	12001,9
8	10202,6	10191,9
9	16762,6	16751,9
10	12772,6	12761,9
11	10992,6	10981,9
12	9582,6	9571,9
13	22642,6	22631,9
14	21942,6	21931,9
15	11852,6	11841,9
16	13402,6	13391,9
17	12892,6	12881,9
18	8122,6	8111,9
19	8392,6	8381,9
20	8272,6	8261,9
21	8942,6	8931,9
22	19972,6	19961,9
23	17812,6	17801,9
24	21902,6	21891,9
25	9192,6	9181,9
26	9192,6	9181,9
27	23772,6	23761,9
28	22772,6	22761,9
29	15552,6	15541,9
30	19852,6	19841,9
31	27572,6	27561,9
32	31062,6	31051,9
33	31062,6	31051,9
34	38952,6	38941,9
35	34012,6	34001,9
36	11832,6	11821,9
37	11832,6	11821,9
38	18882,6	18871,9
39	18832,6	18821,9
40	21872,6	21861,9
41	21872,6	21861,9

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.4: Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen (Fortsetzung)

TW Nr.	EC 250-128 [kg/lfm]	EC 250-129-132 [kg/lfm]
42	10862,6	10851,9
43	10862,6	10851,9
44	16962,6	16951,9
45	16962,6	16951,9
46	11412,6	11401,9
47	10302,6	10291,9
48	11412,6	11401,9
49	10302,6	10291,9
50	17622,6	17611,9
51	18752,6	18741,9
52	11732,6	11721,9
53	11732,6	11721,9
54	18302,6	18291,9
55	18302,6	18291,9
56	12932,6	12921,9
57	12932,6	12921,9
58	21432,6	21421,9
59	21332,6	21321,9
60	21222,6	21211,9
61	14422,6	14411,9
62	22332,6	22321,9
63	17872,6	17861,9
64	16582,6	16571,9
65	16852,6	16841,9
66	25152,6	25141,9
67	28562,6	28551,9
68	28562,6	28551,9
69	14492,6	14481,9
70	11572,6	11561,9
71	11572,6	11561,9
72	17992,6	17981,9
73	17242,6	17231,9
74	18212,6	18201,9
75	18212,6	18201,9

Tab. A.5: Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 4 und Ansatz 5 der Zugkonfigurationen

TW Nr.	ICE 4-1 bis 6 [kg/lfm]	ICE 4-7, 8 [kg/lfm]	RJ A1-H1 [kg/lfm]	RJ A2-H2 [kg/lfm]	EC 250-128-132 [kg/lfm]
1	8133,5	8149,1	8230,3	8222,1	8661,4
2	9933,5	9949,1	10030,3	10022,1	10461,4
3	8653,5	8669,1	8750,3	8742,1	9181,4
4	8576,3	8593,7	8630,2	8621,8	9160,2
5	17117,7	17143,9	17127,2	17153,8	17729,5
6	9217,8	9239,6	9261,9	9253,4	9865,7
7	12416,1	12448,	12513,	12497,8	13537,1
8	10230,4	10249,	10278,1	10269,3	10848,7
9	16765,5	16783,3	16813,2	16804,8	17358,8
10	13519,9	13563,8	13653,5	13632,4	15066,
11	11739,9	11783,8	11873,5	11852,4	13286,
12	9527,9	9543,6	9618,5	9610,3	10060,5
13	22562,9	22577,8	22687,	22678,6	23067,6
14	21862,9	21877,8	21987,	21978,6	22367,6
15	11756,	11770,3	11880,2	11872,1	12108,7
16	13320,2	13334,9	13447,6	13439,3	13821,2
17	12744,7	12757,2	12810,3	12803,9	12877,4
18	8048,	8063,1	8165,6	8157,2	8559,
19	8243,9	8256,3	8309,	8302,6	8376,1
20	8407,8	8430,2	8442,2	8443,1	9052,4
21	9086,8	9109,5	9116,7	9122,	9729,7
22	20338,8	20369,3	20350,8	20381,8	20896,3
23	18178,8	18209,3	18190,8	18221,8	18736,3
24	21805,2	21819,5	21919,7	21911,8	22141,
25	9120,4	9135,5	9234,9	9226,6	9634,
26	9120,4	9135,5	9234,9	9226,6	9634,
27	23727,1	23743,2	23805,5	23797,4	24269,7
28	22727,1	22743,2	22805,5	22797,4	23269,7
29	15868,	15896,8	16387,9	16367,6	16617,5
30	20168,	20196,8	20687,9	20667,6	20917,5
31	27551,4	27568,3	27615,	27606,7	28119,8
32	30959,4	30973,5	31105,7	31097,4	31482,5
33	30959,4	30973,5	31105,7	31097,4	31482,5
34	39960,2	40013,3	40121,7	40096,3	41828,5
35	35020,2	35073,3	35181,7	35156,3	36888,5
36	12207,1	12237,9	12219,6	12250,9	12760,5
37	12207,1	12237,9	12219,6	12250,9	12760,5
38	18785,1	18799,4	18916,4	18908,3	19187,9
39	18735,1	18749,4	18866,4	18858,3	19137,9
40	21858,3	21875,5	21917,5	21909,1	22433,9
41	21858,3	21875,5	21917,5	21909,1	22433,9
42	11185,2	11214,2	11783,7	11762,	11904,8

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.5: Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 4 und Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Fortsetzung)

TW Nr.	ICE 4-1 bis 6 [kg/lfm]	ICE 4-7, 8 [kg/lfm]	RJ A1-H1 [kg/lfm]	RJ A2-H2 [kg/lfm]	EC 250-128-132 [kg/lfm]
43	11185,2	11214,2	11783,7	11762,	11904,8
44	17040,9	17061,3	17101,2	17091,5	17691,5
45	17040,9	17061,3	17101,2	17091,5	17691,5
46	11735,2	11764,2	12333,7	12312,	12454,8
47	10625,2	10654,2	11223,7	11202,	11344,8
48	11735,2	11764,2	12333,7	12312,	12454,8
49	10625,2	10654,2	11223,7	11202,	11344,8
50	17782,5	17805,8	17804,2	17817,7	18421,8
51	18912,5	18935,8	18934,2	18947,7	19551,8
52	12325,	12363,5	12374,	12414,2	12759,2
53	12325,	12363,5	12374,	12414,2	12759,2
54	18353,2	18372,7	18419,	18409,6	18993,9
55	18353,2	18372,7	18419,	18409,6	18993,9
56	13227,7	13255,7	13237,4	13265,8	13818,8
57	13227,7	13255,7	13237,4	13265,8	13818,8
58	21797,2	21827,6	21809,1	21840,	22355,5
59	21697,2	21727,6	21709,1	21740,	22255,5
60	21784,8	21822,2	21824,1	21862,9	22235,8
61	14984,8	15022,2	15024,1	15062,9	15435,8
62	22447,8	22469,6	22491,9	22483,4	23095,7
63	17987,8	18009,6	18031,9	18023,4	18635,7
64	16753,5	16777,2	16769,4	16788,6	17390,
65	17023,5	17047,2	17039,4	17058,6	17660,
66	25323,5	25347,2	25339,4	25358,6	25960,
67	28622,4	28642,1	28689,5	28679,9	29271,8
68	28622,4	28642,1	28689,5	28679,9	29271,8
69	14552,4	14572,1	14619,5	14609,9	15201,8
70	11935,1	11965,5	12027,5	12013,	13005,2
71	11935,1	11965,5	12027,5	12013,	13005,2
72	18030,	18048,9	18093,8	18084,6	18657,8
73	17280,	17298,9	17343,8	17334,6	17907,8
74	18299,5	18320,3	18356,3	18346,5	18949,9
75	18299,5	18320,3	18356,3	18346,5	18949,9

Tab. A.6: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 1-4

Achse Nr.	ICE 4-1		ICE 4-2		ICE 4-3		ICE 4-4	
	P [N]	AA [m]						
1	175300	2,3	174200	2,3	175300	2,3	175300	2,3
2	175300	17,2	174200	17,2	175300	17,2	175300	17,2
3	176300	2,3	171700	2,3	176300	2,3	176300	2,3
4	176300	6,8	171700	6,95	176300	6,8	176300	6,8
5	198900	2,6	171500	2,3	198900	2,6	198900	2,6
6	198900	16,9	171500	17,2	198900	16,9	198900	16,9
7	200600	2,6	169600	2,3	200600	2,6	200600	2,6
8	200600	6,8	169600	6,8	200600	6,8	200600	6,8
9	175100	2,3	204800	2,6	175100	2,3	175100	2,3
10	175100	17,2	204800	16,9	175100	17,2	175100	17,2
11	180300	2,3	203600	2,6	180300	2,3	180300	2,3
12	180300	6,8	203600	6,65	180300	6,8	180300	6,8
13	198900	2,6	200600	2,6	198900	2,6	198900	2,6
14	198900	16,9	200600	16,9	198900	16,9	198900	16,9
15	200600	2,6	198900	2,6	200600	2,6	200600	2,6
16	200600	6,65	198900	6,8	200600	6,65	200600	6,65
17	203600	2,6	180300	2,3	203600	2,6	203600	2,6
18	203600	16,9	180300	17,2	203600	16,9	203600	16,9
19	204800	2,6	175100	2,3	204800	2,6	204800	2,6
20	204800	6,8	175100	6,8	204800	6,8	204800	6,8
21	169600	2,3	200600	2,6	169600	2,3	169600	2,3
22	169600	17,2	200600	16,9	169600	17,2	169600	17,2
23	171500	2,3	198900	2,6	171500	2,3	171500	2,3
24	171500	6,95	198900	6,8	171500	6,95	171500	6,95
25	171700	2,3	176300	2,3	171700	2,3	171700	2,3
26	171700	17,2	176300	17,2	171700	17,2	171700	17,2
27	174200	2,3	175300	2,3	174200	2,3	174200	2,3
28	174200		175300		174200	7,034	174200	7,034
29					175300	2,3	174200	2,3
30					175300	17,2	174200	17,2
31					176300	2,3	171700	2,3
32					176300	6,8	171700	6,95
33					198900	2,6	171500	2,3
34					198900	16,9	171500	17,2
35					200600	2,6	169600	2,3
36					200600	6,8	169600	6,8
37					175100	2,3	204800	2,6
38					175100	17,2	204800	16,9
39					180300	2,3	203600	2,6
40					180300	6,8	203600	6,65
41					198900	2,6	200600	2,6

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.6: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 1-4 (Fortsetzung)

Achse Nr.	ICE 4-1		ICE 4-2		ICE 4-3		ICE 4-4	
	P [N]	AA [m]						
42					198900	16,9	200600	16,9
43					200600	2,6	198900	2,6
44					200600	6,65	198900	6,8
45					203600	2,6	180300	2,3
46					203600	16,9	180300	17,2
47					204800	2,6	175100	2,3
48					204800	6,8	175100	6,8
49					169600	2,3	200600	2,6
50					169600	17,2	200600	16,9
51					171500	2,3	198900	2,6
52					171500	6,95	198900	6,8
53					171700	2,3	176300	2,3
54					171700	17,2	176300	17,2
55					174200	2,3	175300	2,3
56					174200		175300	

Tab. A.7: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 5-8

Achse Nr.	ICE 4-5		ICE 4-6		ICE 4-7		ICE 4-8	
	P [N]	AA [m]						
1	174200	2,3	174200	2,3	175300	2,3	176000	2,3
2	174200	17,2	174200	17,2	175300	17,2	176000	17,2
3	171700	2,3	171700	2,3	176300	2,3	175600	2,3
4	171700	6,95	171700	6,95	176300	6,8	175600	6,95
5	171500	2,3	171500	2,3	199200	2,6	179600	2,3
6	171500	17,2	171500	17,2	199200	16,9	179600	17,2
7	169600	2,3	169600	2,3	201000	2,6	176600	2,3
8	169600	6,8	169600	6,8	201000	6,65	176600	6,8
9	204800	2,6	204800	2,6	199200	2,6	200000	2,6
10	204800	16,9	204800	16,9	199200	16,9	200000	16,9
11	203600	2,6	203600	2,6	201000	2,6	201300	2,6
12	203600	6,65	203600	6,65	201000	6,8	201300	6,8
13	200600	2,6	200600	2,6	175900	2,3	171300	2,3
14	200600	16,9	200600	16,9	175900	17,2	171300	17,2
15	198900	2,6	198900	2,6	180300	2,3	169600	2,3
16	198900	6,8	198900	6,8	180300	6,8	169600	6,8
17	180300	2,3	180300	2,3	199200	2,6	205900	2,6
18	180300	17,2	180300	17,2	199200	16,9	205900	16,9
19	175100	2,3	175100	2,3	201000	2,6	206000	2,6
20	175100	6,8	175100	6,8	201000	6,65	206000	6,8

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.7: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 5-8 (Fortsetzung)

Achse Nr.	ICE 4-5		ICE 4-6		ICE 4-7		ICE 4-8	
	P [N]	AA [m]						
21	200600	2,6	200600	2,6	199200	2,6	179000	2,3
22	200600	16,9	200600	16,9	199200	16,9	179000	17,2
23	198900	2,6	198900	2,6	201000	2,6	177200	2,3
24	198900	6,8	198900	6,8	201000	6,8	177200	6,8
25	176300	2,3	176300	2,3	177200	2,3	201000	2,6
26	176300	17,2	176300	17,2	177200	17,2	201000	16,9
27	175300	2,3	175300	2,3	179000	2,3	199200	2,6
28	175300	7,034	175300	7,034	179000	6,8	199200	6,65
29	175300	2,3	174200	2,3	206000	2,6	201000	2,6
30	175300	17,2	174200	17,2	206000	16,9	201000	16,9
31	176300	2,3	171700	2,3	205900	2,6	199200	2,6
32	176300	6,8	171700	6,95	205900	6,8	199200	6,8
33	198900	2,6	171500	2,3	169600	2,3	180300	2,3
34	198900	16,9	171500	17,2	169600	17,2	180300	17,2
35	200600	2,6	169600	2,3	171300	2,3	175900	2,3
36	200600	6,8	169600	6,8	171300	6,8	175900	6,8
37	175100	2,3	204800	2,6	201300	2,6	201000	2,6
38	175100	17,2	204800	16,9	201300	16,9	201000	16,9
39	180300	2,3	203600	2,6	200000	2,6	199200	2,6
40	180300	6,8	203600	6,65	200000	6,8	199200	6,65
41	198900	2,6	200600	2,6	176600	2,3	201000	2,6
42	198900	16,9	200600	16,9	176600	17,2	201000	16,9
43	200600	2,6	198900	2,6	179600	2,3	199200	2,6
44	200600	6,65	198900	6,8	179600	6,95	199200	6,8
45	203600	2,6	180300	2,3	175600	2,3	176300	2,3
46	203600	16,9	180300	17,2	175600	17,2	176300	17,2
47	204800	2,6	175100	2,3	176000	2,3	175300	2,3
48	204800	6,8	175100	6,8	176000		175300	
49	169600	2,3	200600	2,6				
50	169600	17,2	200600	16,9				
51	171500	2,3	198900	2,6				
52	171500	6,95	198900	6,8				
53	171700	2,3	176300	2,3				
54	171700	17,2	176300	17,2				
55	174200	2,3	175300	2,3				
56	174200		175300					

Tab. A.8: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet A, B Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-A1		RJ-A2		RJ-B1		RJ-B2	
	P [N]	AA [m]						
1	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	225000	3,0
2	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90	225000	6,90
3	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	225000	3,0
4	225000	6,04	155000	5,0	225000	6,38	225000	5,69
5	155000	2,50	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
6	155000	16,50	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50
7	155000	2,50	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
8	155000	5,0	155000	5,0	225000	5,69	155000	5,0
9	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
10	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
11	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
12	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
13	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
14	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
15	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
16	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
17	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
18	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
19	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
20	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
21	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
22	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
23	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
24	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
25	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
26	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
27	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
28	155000	5,0	155000	5,69	155000	5,0	155000	5,0
29	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50
30	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50	155000	16,50
31	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50
32	155000	5,69	225000	6,38	155000	5,0	155000	6,04
33	225000	3,0	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0
34	225000	6,90	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90
35	225000	3,0	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0
36	225000	6,38	225000	5,69	155000	6,04	225000	5,69
37	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
38	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50
39	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
40	225000	5,69	155000	5,0	225000	5,69	155000	5,0
41	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.8: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-A1		RJ-A2		RJ-B1		RJ-B2	
	P [N]	AA [m]						
42	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
43	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
44	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
45	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
46	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
47	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
48	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
49	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
51	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
52	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
53	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
54	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
55	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
56	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
57	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
58	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
59	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
60	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
61	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
62	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
63	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
64	155000	5,0	155000		155000	5,0	155000	
65	155000	2,50			155000	2,50		
66	155000	16,50			155000	16,50		
67	155000	2,50			155000	2,50		
68	155000				155000			

Tab. A.9: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet C, D Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-C1		RJ-C2		RJ-D1		RJ-D2	
	P [N]	AA [m]						
1	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	225000	3,0
2	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90	225000	6,90
3	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	225000	3,0
4	225000	6,04	155000	5,0	225000	6,38	225000	5,69
5	155000	2,50	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
6	155000	16,50	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50
7	155000	2,50	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
8	155000	5,0	155000	5,0	225000	5,69	155000	5,0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.9: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-C1		RJ-C2		RJ-D1		RJ-D2	
	P [N]	AA [m]						
9	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
10	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
11	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
12	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
13	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
14	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
15	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
16	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
17	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
18	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
19	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
20	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
21	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
22	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
23	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
24	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
25	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
26	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
27	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
28	155000	5,0	155000	5,69	155000	5,0	155000	5,0
29	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50
30	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50	155000	16,50
31	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50
32	155000	5,69	225000	6,04	155000	5,0	155000	5,70
33	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
34	225000	6,90	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
35	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
36	225000	6,04	155000	5,0	155000	5,70	155000	5,0
37	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
38	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
39	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
40	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
41	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
42	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
43	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
44	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
45	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
46	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
47	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
48	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
49	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.9: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-C1		RJ-C2		RJ-D1		RJ-D2	
	P [N]	AA [m]						
51	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
52	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
53	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
54	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
55	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
56	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
57	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
58	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
59	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
60	155000	5,0	155000	5,69	155000	5,0	155000	5,69
61	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0
62	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90
63	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0
64	155000	5,69	225000		155000	5,69	225000	
65	225000	3,0			225000	3,0		
66	225000	6,90			225000	6,90		
67	225000	3,0			225000	3,0		
68	225000				225000			

Tab. A.10: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet E, F Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-E1		RJ-E2		RJ-F1		RJ-F2	
	P [N]	AA [m]						
1	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	225000	3,0
2	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90	225000	6,90
3	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	225000	3,0
4	225000	6,19	155000	5,0	225000	6,68	225000	5,84
5	155000	2,50	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
6	155000	16,50	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50
7	155000	2,50	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
8	155000	5,0	155000	5,0	225000	5,84	155000	5,0
9	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
10	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
11	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
12	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
13	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
14	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
15	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
16	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
17	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.10: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-E1		RJ-E2		RJ-F1		RJ-F2	
	P [N]	AA [m]						
18	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
19	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
20	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
21	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
22	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
23	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
24	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
25	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
26	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
27	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
28	155000	5,0	155000	5,84	155000	5,0	155000	5,0
29	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50
30	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50	155000	16,50
31	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50
32	155000	5,84	225000	6,68	155000	5,0	155000	6,19
33	225000	3,0	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0
34	225000	6,90	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90
35	225000	3,0	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0
36	225000	6,68	225000	5,84	155000	6,19	225000	5,84
37	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
38	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50
39	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
40	225000	5,84	155000	5,0	225000	5,84	155000	5,0
41	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
42	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
43	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
44	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
45	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
46	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
47	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
48	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
49	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
51	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
52	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
53	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
54	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
55	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
56	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
57	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
58	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
59	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.10: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-E1		RJ-E2		RJ-F1		RJ-F2	
	P [N]	AA [m]						
60	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
61	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
62	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
63	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
64	155000	5,0	155000		155000	5,0	155000	
65	155000	2,50			155000	2,50		
66	155000	16,50			155000	16,50		
67	155000	2,50			155000	2,50		
68	155000				155000			

Tab. A.11: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet G, H Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-G1		RJ-G2		RJ-H1		RJ-H2	
	P [N]	AA [m]						
1	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	225000	3,0
2	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90	225000	6,90
3	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0	225000	3,0
4	225000	5,84	155000	5,0	225000	6,68	225000	5,84
5	155000	2,50	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
6	155000	16,50	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50
7	155000	2,50	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50
8	155000	5,0	155000	5,0	225000	5,84	155000	5,0
9	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
10	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
11	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
12	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
13	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
14	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
15	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
16	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
17	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
18	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
19	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
20	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
21	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
22	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
23	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
24	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
25	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
26	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.11: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet G, H Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-G1		RJ-G2		RJ-H1		RJ-H2	
	P [N]	AA [m]						
27	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
28	155000	5,0	155000	5,84	155000	5,0	155000	5,0
29	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50
30	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50	155000	16,50
31	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50
32	155000	6,19	225000	6,19	155000	5,0	155000	5,70
33	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
34	225000	6,90	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
35	225000	3,0	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
36	225000	5,84	155000	5,0	155000	5,70	155000	5,0
37	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
38	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
39	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
40	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
41	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
42	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
43	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
44	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
45	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
46	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
47	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
48	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
49	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
51	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
52	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
53	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
54	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
55	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
56	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0	155000	5,0
57	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
58	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50	155000	16,50
59	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50	155000	2,50
60	155000	5,0	155000	5,84	155000	5,0	155000	5,84
61	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0
62	155000	16,50	225000	6,90	155000	16,50	225000	6,90
63	155000	2,50	225000	3,0	155000	2,50	225000	3,0
64	155000	5,84	225000		155000	5,84	225000	
65	225000	3,0			225000	3,0		
66	225000	6,90			225000	6,90		
67	225000	3,0			225000	3,0		
68	225000				225000			

Tab. A.12: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 128 - 130)

Achse Nr.	EC 250-Nr.128		EC 250-Nr.129		EC 250-Nr.130	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
1	172360	2,70	172360	2,70	172360	2,70
2	172230	13,98	172230	13,98	172230	13,98
3	186640	2,75	186640	2,75	186640	2,75
4	186780	14,75	186780	14,75	186780	14,75
5	186330	2,75	186330	2,75	186330	2,75
6	186460	14,75	186460	14,75	186460	14,75
7	174760	2,75	174760	2,75	174760	2,75
8	174860	14,75	174860	14,75	174860	14,75
9	181990	2,75	181990	2,75	181990	2,75
10	182100	14,75	182100	14,75	182100	14,75
11	183230	2,75	183230	2,75	183230	2,75
12	183340	14,75	183340	14,75	183340	14,75
13	186710	2,75	186710	2,75	186710	2,75
14	186820	14,75	186820	14,75	186820	14,75
15	186010	2,75	186010	2,75	186010	2,75
16	186150	14,75	186150	14,75	186150	14,75
17	186710	2,75	186710	2,75	186710	2,75
18	186850	14,75	186850	14,75	186850	14,75
19	185400	2,75	185400	2,75	185400	2,75
20	185500	14,75	185500	14,75	185500	14,75
21	181800	2,75	181800	2,75	181800	2,75
22	181900	13,98	181900	13,98	181900	13,98
23	175380	2,70	175380	2,70	175380	2,70
24	175500		175500	8,40	175500	8,40
25			172360	2,70	175500	2,70
26			172230	13,98	175380	13,98
27			186640	2,75	181900	2,75
28			186780	14,75	181800	14,75
29			186330	2,75	185500	2,75
30			186460	14,75	185400	14,75
31			174760	2,75	186850	2,75
32			174860	14,75	186710	14,75
33			181990	2,75	186150	2,75
34			182100	14,75	186010	14,75
35			183230	2,75	186820	2,75
36			183340	14,75	186710	14,75
37			186710	2,75	183340	2,75
38			186820	14,75	183230	14,75
39			186010	2,75	182100	2,75
40			186150	14,75	181990	14,75
41			186710	2,75	174860	2,75

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.12: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 128 - 130) (Fortsetzung)

Achse Nr.	EC 250-Nr.128		EC 250-Nr.129		EC 250-Nr.130	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
42			186850	14,75	174760	14,75
43			185400	2,75	186460	2,75
44			185500	14,75	186330	14,75
45			181800	2,75	186780	2,75
46			181900	13,98	186640	13,98
47			175380	2,70	172230	2,70
48			175500		172360	

Tab. A.13: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 131 - 132)

Achse Nr.	EC 250-Nr.131		EC 250-Nr.132	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
1	172360	2,70	175500	2,70
2	172230	13,98	175380	13,98
3	186640	2,75	181900	2,75
4	186780	14,75	181800	14,75
5	186330	2,75	185500	2,75
6	186460	14,75	185400	14,75
7	174760	2,75	186850	2,75
8	174860	14,75	186710	14,75
9	181990	2,75	186150	2,75
10	182100	14,75	186010	14,75
11	183230	2,75	186820	2,75
12	183340	14,75	186710	14,75
13	186710	2,75	183340	2,75
14	186820	14,75	183230	14,75
15	186010	2,75	182100	2,75
16	186150	14,75	181990	14,75
17	186710	2,75	174860	2,75
18	186850	14,75	174760	14,75
19	185400	2,75	186460	2,75
20	185500	14,75	186330	14,75
21	181800	2,75	186780	2,75
22	181900	13,98	186640	13,98
23	175380	2,70	172230	2,70
24	175500	8,40	172360	8,40
25	175500	2,70	172360	2,70
26	175380	13,98	172230	13,98
27	181900	2,75	186640	2,75
28	181800	14,75	186780	14,75

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.13: Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 131 - 132) (Fortsetzung)

Achse Nr.	EC 250-Nr.131		EC 250-Nr.132	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
29	185500	2,75	186330	2,75
30	185400	14,75	186460	14,75
31	186850	2,75	174760	2,75
32	186710	14,75	174860	14,75
33	186150	2,75	181990	2,75
34	186010	14,75	182100	14,75
35	186820	2,75	183230	2,75
36	186710	14,75	183340	14,75
37	183340	2,75	186710	2,75
38	183230	14,75	186820	14,75
39	182100	2,75	186010	2,75
40	181990	14,75	186150	14,75
41	174860	2,75	186710	2,75
42	174760	14,75	186850	14,75
43	186460	2,75	185400	2,75
44	186330	14,75	185500	14,75
45	186780	2,75	181800	2,75
46	186640	13,98	181900	13,98
47	172230	2,70	175380	2,70
48	172360		175500	

Tab. A.14: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der ICE 4 Nr. 1-4

Achse Nr.	ICE 4-1		ICE 4-2		ICE 4-3		ICE 4-4	
	P [N]	AA [m]						
1	161271,7	2,30	160171,7	2,30	161271,7	2,30	161271,7	2,30
2	161271,7	17,20	160171,7	17,20	161271,7	17,20	161271,7	17,20
3	162271,7	2,30	157671,7	2,30	162271,7	2,30	162271,7	2,30
4	162271,7	6,80	157671,7	6,95	162271,7	6,80	162271,7	6,80
5	176121,2	2,60	157471,7	2,30	176121,2	2,60	176121,2	2,60
6	176121,2	16,90	157471,7	17,20	176121,2	16,90	176121,2	16,90
7	177821,2	2,60	155571,7	2,30	177821,2	2,60	177821,2	2,60
8	177821,2	6,80	155571,7	6,80	177821,2	6,80	177821,2	6,80
9	161071,7	2,30	182021,2	2,60	161071,7	2,30	161071,7	2,30
10	161071,7	17,20	182021,2	16,90	161071,7	17,20	161071,7	17,20
11	166271,7	2,30	180821,2	2,60	166271,7	2,30	166271,7	2,30
12	166271,7	6,80	180821,2	6,65	166271,7	6,80	166271,7	6,80
13	176121,2	2,60	177821,2	2,60	176121,2	2,60	176121,2	2,60
14	176121,2	16,90	177821,2	16,90	176121,2	16,90	176121,2	16,90
15	177821,2	2,60	176121,2	2,60	177821,2	2,60	177821,2	2,60
16	177821,2	6,65	176121,2	6,80	177821,2	6,65	177821,2	6,65

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.14: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der ICE 4 Nr. 1-4 (Fortsetzung)

Achse Nr.	ICE 4-1		ICE 4-2		ICE 4-3		ICE 4-4	
	P [N]	AA [m]						
17	180821,2	2,60	166271,7	2,30	180821,2	2,60	180821,2	2,60
18	180821,2	16,90	166271,7	17,20	180821,2	16,90	180821,2	16,90
19	182021,2	2,60	161071,7	2,30	182021,2	2,60	182021,2	2,60
20	182021,2	6,80	161071,7	6,80	182021,2	6,80	182021,2	6,80
21	155571,7	2,30	177821,2	2,60	155571,7	2,30	155571,7	2,30
22	155571,7	17,20	177821,2	16,90	155571,7	17,20	155571,7	17,20
23	157471,7	2,30	176121,2	2,60	157471,7	2,30	157471,7	2,30
24	157471,7	6,95	176121,2	6,80	157471,7	6,95	157471,7	6,95
25	157671,7	2,30	162271,7	2,30	157671,7	2,30	157671,7	2,30
26	157671,7	17,20	162271,7	17,20	157671,7	17,20	157671,7	17,20
27	160171,7	2,30	161271,7	2,30	160171,7	2,30	160171,7	2,30
28	160171,7		161271,7		160171,7	7,03	160171,7	7,03
29					161271,7	2,30	160171,7	2,30
30					161271,7	17,20	160171,7	17,20
31					162271,7	2,30	157671,7	2,30
32					162271,7	6,80	157671,7	6,95
33					176121,2	2,60	157471,7	2,30
34					176121,2	16,90	157471,7	17,20
35					177821,2	2,60	155571,7	2,30
36					177821,2	6,80	155571,7	6,80
37					161071,7	2,30	182021,2	2,60
38					161071,7	17,20	182021,2	16,90
39					166271,7	2,30	180821,2	2,60
40					166271,7	6,80	180821,2	6,65
41					176121,2	2,60	177821,2	2,60
42					176121,2	16,90	177821,2	16,90
43					177821,2	2,60	176121,2	2,60
44					177821,2	6,65	176121,2	6,80
45					180821,2	2,60	166271,7	2,30
46					180821,2	16,90	166271,7	17,20
47					182021,2	2,60	161071,7	2,30
48					182021,2	6,80	161071,7	6,80
49					155571,7	2,30	177821,2	2,60
50					155571,7	17,20	177821,2	16,90
51					157471,7	2,30	176121,2	2,60
52					157471,7	6,95	176121,2	6,80
53					157671,7	2,30	162271,7	2,30
54					157671,7	17,20	162271,7	17,20
55					160171,7	2,30	161271,7	2,30
56					160171,7		161271,7	

Tab. A.15: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der ICE 4 Nr. 5-8

Achse Nr.	ICE 4-5		ICE 4-6		ICE 4-7		ICE 4-8	
	$P [N]$	$AA [m]$						
1	160171,7	2,30	160171,7	2,30	161271,7	2,30	161971,7	2,30
2	160171,7	17,20	160171,7	17,20	161271,7	17,20	161971,7	17,20
3	157671,7	2,30	157671,7	2,30	162271,7	2,30	161571,7	2,30
4	157671,7	6,95	157671,7	6,95	162271,7	6,80	161571,7	6,95
5	157471,7	2,30	157471,7	2,30	176421,2	2,60	165571,7	2,30
6	157471,7	17,20	157471,7	17,20	176421,2	16,90	165571,7	17,20
7	155571,7	2,30	155571,7	2,30	178221,2	2,60	162571,7	2,30
8	155571,7	6,80	155571,7	6,80	178221,2	6,65	162571,7	6,80
9	182021,2	2,60	182021,2	2,60	176421,2	2,60	177221,2	2,60
10	182021,2	16,90	182021,2	16,90	176421,2	16,90	177221,2	16,90
11	180821,2	2,60	180821,2	2,60	178221,2	2,60	178521,2	2,60
12	180821,2	6,65	180821,2	6,65	178221,2	6,80	178521,2	6,80
13	177821,2	2,60	177821,2	2,60	161871,7	2,30	157271,7	2,30
14	177821,2	16,90	177821,2	16,90	161871,7	17,20	157271,7	17,20
15	176121,2	2,60	176121,2	2,60	166271,7	2,30	155571,7	2,30
16	176121,2	6,80	176121,2	6,80	166271,7	6,80	155571,7	6,80
17	166271,7	2,30	166271,7	2,30	176421,2	2,60	183121,2	2,60
18	166271,7	17,20	166271,7	17,20	176421,2	16,90	183121,2	16,90
19	161071,7	2,30	161071,7	2,30	178221,2	2,60	183221,2	2,60
20	161071,7	6,80	161071,7	6,80	178221,2	6,65	183221,2	6,80
21	177821,2	2,60	177821,2	2,60	176421,2	2,60	164971,7	2,30
22	177821,2	16,90	177821,2	16,90	176421,2	16,90	164971,7	17,20
23	176121,2	2,60	176121,2	2,60	178221,2	2,60	163171,7	2,30
24	176121,2	6,80	176121,2	6,80	178221,2	6,80	163171,7	6,80
25	162271,7	2,30	162271,7	2,30	163171,7	2,30	178221,2	2,60
26	162271,7	17,20	162271,7	17,20	163171,7	17,20	178221,2	16,90
27	161271,7	2,30	161271,7	2,30	164971,7	2,30	176421,2	2,60
28	161271,7	7,03	161271,7	7,03	164971,7	6,80	176421,2	6,65
29	161271,7	2,30	160171,7	2,30	183221,2	2,60	178221,2	2,60
30	161271,7	17,20	160171,7	17,20	183221,2	16,90	178221,2	16,90
31	162271,7	2,30	157671,7	2,30	183121,2	2,60	176421,2	2,60
32	162271,7	6,80	157671,7	6,95	183121,2	6,80	176421,2	6,80
33	176121,2	2,60	157471,7	2,30	155571,7	2,30	166271,7	2,30
34	176121,2	16,90	157471,7	17,20	155571,7	17,20	166271,7	17,20
35	177821,2	2,60	155571,7	2,30	157271,7	2,30	161871,7	2,30
36	177821,2	6,80	155571,7	6,80	157271,7	6,80	161871,7	6,80
37	161071,7	2,30	182021,2	2,60	178521,2	2,60	178221,2	2,60
38	161071,7	17,20	182021,2	16,90	178521,2	16,90	178221,2	16,90
39	166271,7	2,30	180821,2	2,60	177221,2	2,60	176421,2	2,60
40	166271,7	6,80	180821,2	6,65	177221,2	6,80	176421,2	6,65
41	176121,2	2,60	177821,2	2,60	162571,7	2,30	178221,2	2,60
42	176121,2	16,90	177821,2	16,90	162571,7	17,20	178221,2	16,90

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.15: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der ICE 4 Nr. 5-8 (Fortsetzung)

Achse Nr.	ICE 4-5		ICE 4-6		ICE 4-7		ICE 4-8	
	$P [N]$	$AA [m]$						
43	177821,2	2,60	176121,2	2,60	165571,7	2,30	176421,2	2,60
44	177821,2	6,65	176121,2	6,80	165571,7	6,95	176421,2	6,80
45	180821,2	2,60	166271,7	2,30	161571,7	2,30	162271,7	2,30
46	180821,2	16,90	166271,7	17,20	161571,7	17,20	162271,7	17,20
47	182021,2	2,60	161071,7	2,30	161971,7	2,30	161271,7	2,30
48	182021,2	6,80	161071,7	6,80	161971,7		161271,7	
49	155571,7	2,30	177821,2	2,60				
50	155571,7	17,20	177821,2	16,90				
51	157471,7	2,30	176121,2	2,60				
52	157471,7	6,95	176121,2	6,80				
53	157671,7	2,30	162271,7	2,30				
54	157671,7	17,20	162271,7	17,20				
55	160171,7	2,30	161271,7	2,30				
56	160171,7		161271,7					

Tab. A.16: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet A, B Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-A1		RJ-A2		RJ-B1		RJ-B2	
	$P [N]$	$AA [m]$						
1	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0	200524,05	3,0
2	200524,05	6,90	136272,71	16,50	200524,05	6,90	200524,05	6,90
3	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0	200524,05	3,0
4	200524,05	6,04	136272,71	5,0	200524,05	6,38	200524,05	5,69
5	136272,71	2,50	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
6	136272,71	16,50	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50
7	136272,71	2,50	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
8	136272,71	5,0	136361,0	5,0	200524,05	5,69	136361,0	5,0
9	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
10	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
11	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
12	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
13	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
14	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
15	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
16	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
17	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
18	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
19	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
20	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
21	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
22	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
23	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.16: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-A1		RJ-A2		RJ-B1		RJ-B2	
	P [N]	AA [m]						
24	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
25	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
26	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
27	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
28	136361,0	5,0	136361,0	5,69	136361,0	5,0	136361,0	5,0
29	136361,0	2,50	206361,0	3,0	136361,0	2,50	136272,71	2,50
30	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50	136272,71	16,50
31	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136272,71	2,50
32	136361,0	5,69	200524,05	6,38	136361,0	5,0	136272,71	6,04
33	200524,05	3,0	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0
34	200524,05	6,90	200524,05	6,90	136272,71	16,50	200524,05	6,90
35	200524,05	3,0	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0
36	200524,05	6,38	200524,05	5,69	136272,71	6,04	200524,05	5,69
37	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
38	200524,05	6,90	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50
39	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
40	200524,05	5,69	136361,0	5,0	200524,05	5,69	136361,0	5,0
41	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
42	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
43	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
44	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
45	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
46	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
47	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
48	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
49	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
51	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
52	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
53	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
54	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
55	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
56	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
57	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
58	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
59	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
60	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
61	136361,0	2,50	136272,71	2,50	136361,0	2,50	136272,71	2,50
62	136361,0	16,50	136272,71	16,50	136361,0	16,50	136272,71	16,50
63	136361,0	2,50	136272,71	2,50	136361,0	2,50	136272,71	2,50
64	136361,0	5,0	136272,71		136361,0	5,0	136272,71	
65	136272,71	2,50			136272,71	2,50		

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.16: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-A1		RJ-A2		RJ-B1		RJ-B2	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
66	136272,71	16,50			136272,71	16,50		
67	136272,71	2,50			136272,71	2,50		
68	136272,71				136272,71			

Tab. A.17: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet C, D Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-C1		RJ-C2		RJ-D1		RJ-D2	
	P [N]	AA [m]						
1	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0	200524,05	3,0
2	200524,05	6,90	136272,71	16,50	200524,05	6,90	200524,05	6,90
3	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0	200524,05	3,0
4	200524,05	6,04	136272,71	5,0	200524,05	6,38	200524,05	5,69
5	136272,71	2,50	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
6	136272,71	16,50	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50
7	136272,71	2,50	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
8	136272,71	5,0	136361,0	5,0	200524,05	5,69	136361,0	5,0
9	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
10	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
11	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
12	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
13	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
14	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
15	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
16	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
17	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
18	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
19	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
20	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
21	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
22	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
23	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
24	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
25	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
26	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
27	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
28	136361,0	5,0	136361,0	5,69	136361,0	5,0	136361,0	5,0
29	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136272,71	2,50
30	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50	136272,71	16,50
31	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136272,71	2,50
32	136361,0	5,69	200524,05	6,04	136361,0	5,0	136272,71	5,70
33	200524,05	3,0	136272,71	2,50	136272,71	2,50	136272,71	2,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.17: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-C1		RJ-C2		RJ-D1		RJ-D2	
	P [N]	AA [m]						
34	200524,05	6,90	136272,71	16,50	136272,71	16,50	136272,71	16,50
35	200524,05	3,0	136272,71	2,50	136272,71	2,50	136272,71	2,50
36	200524,05	6,04	136272,71	5,0	136272,71	5,70	136272,71	5,0
37	136272,71	2,50	136361,0	2,50	136272,71	2,50	136361,0	2,50
38	136272,71	16,50	136361,0	16,50	136272,71	16,50	136361,0	16,50
39	136272,71	2,50	136361,0	2,50	136272,71	2,50	136361,0	2,50
40	136272,71	5,0	136361,0	5,0	136272,71	5,0	136361,0	5,0
41	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
42	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
43	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
44	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
45	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
46	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
47	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
48	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
49	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
51	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
52	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
53	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
54	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
55	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
56	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
57	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
58	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
59	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
60	136361,0	5,0	136361,0	5,69	136361,0	5,0	136361,0	5,69
61	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0
62	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50	200524,05	6,90
63	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0
64	136361,0	5,69	200524,05		136361,0	5,69	200524,05	
65	200524,05	3,0			200524,05	3,0		
66	200524,05	6,90			200524,05	6,90		
67	200524,05	3,0			200524,05	3,0		
68	200524,05				200524,05			

Tab. A.18: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet E, F Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-E1		RJ-E2		RJ-F1		RJ-F2	
	P [N]	AA [m]						
1	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0	200524,05	3,0
2	200524,05	6,90	136272,71	16,50	200524,05	6,90	200524,05	6,90
3	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0	200524,05	3,0
4	200524,05	6,19	136272,71	5,0	200524,05	6,68	200524,05	5,84
5	136361,0	2,50	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
6	136361,0	16,50	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50
7	136361,0	2,50	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
8	136361,0	5,0	136361,0	5,0	200524,05	5,84	136361,0	5,0
9	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
10	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
11	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
12	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
13	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
14	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
15	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
16	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
17	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
18	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
19	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
20	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
21	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
22	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
23	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
24	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
25	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
26	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
27	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
28	136361,0	5,0	136361,0	5,84	136361,0	5,0	136361,0	5,0
29	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136361,0	2,50
30	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50	136361,0	16,50
31	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136361,0	2,50
32	136361,0	5,84	200524,05	6,68	136361,0	5,0	136361,0	6,19
33	200524,05	3,0	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0
34	200524,05	6,90	200524,05	6,90	136361,0	16,50	200524,05	6,90
35	200524,05	3,0	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0
36	200524,05	6,68	200524,05	5,84	136361,0	6,19	200524,05	5,84
37	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
38	200524,05	6,90	136272,71	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50
39	200524,05	3,0	136272,71	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
40	200524,05	5,84	136272,71	5,0	200524,05	5,84	136361,0	5,0
41	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
42	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.18: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-E1		RJ-E2		RJ-F1		RJ-F2	
	P [N]	AA [m]						
43	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
44	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
45	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
46	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
47	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
48	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
49	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
51	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
52	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
53	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
54	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
55	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
56	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
57	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
58	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
59	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
60	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
61	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
62	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
63	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
64	136361,0	5,0	136361,0		136361,0	5,0	136361,0	
65	136361,0	2,50			136361,0	2,50		
66	136361,0	16,50			136361,0	16,50		
67	136361,0	2,50			136361,0	2,50		
68	136361,0				136361,0			

Tab. A.19: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet G, H Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-G1		RJ-G2		RJ-H1		RJ-H2	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
1	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0	200524,05	3,0
2	200524,05	6,90	136361,0	16,50	200524,05	6,90	200524,05	6,90
3	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0	200524,05	3,0
4	200524,05	5,84	136361,0	5,0	200524,05	6,68	200524,05	5,84
5	136361,0	2,50	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
6	136361,0	16,50	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50
7	136361,0	2,50	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50
8	136361,0	5,0	136361,0	5,0	200524,05	5,84	136361,0	5,0
9	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
10	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.19: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet G, H Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-G1		RJ-G2		RJ-H1		RJ-H2	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
11	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
12	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
13	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
14	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
15	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
16	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
17	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
18	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
19	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
20	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
21	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
22	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
23	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
24	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
25	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
26	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
27	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
28	136361,0	5,0	136361,0	5,84	136361,0	5,0	136361,0	5,0
29	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136361,0	2,50
30	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50	136361,0	16,50
31	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136361,0	2,50
32	136361,0	6,19	200524,05	6,19	136361,0	5,0	136361,0	5,70
33	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
34	200524,05	6,90	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
35	200524,05	3,0	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
36	200524,05	5,84	136361,0	5,0	136361,0	5,70	136361,0	5,0
37	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
38	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
39	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
40	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
41	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
42	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
43	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
44	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
45	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
46	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
47	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
48	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
49	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
51	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
52	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.19: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet G, H Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-G1		RJ-G2		RJ-H1		RJ-H2	
	P [N]	AA [m]						
53	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
54	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
55	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
56	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0	136361,0	5,0
57	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
58	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50	136361,0	16,50
59	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50	136361,0	2,50
60	136361,0	5,0	136361,0	5,84	136361,0	5,0	136361,0	5,84
61	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0
62	136361,0	16,50	200524,05	6,90	136361,0	16,50	200524,05	6,90
63	136361,0	2,50	200524,05	3,0	136361,0	2,50	200524,05	3,0
64	136361,0	5,84	200524,05		136361,0	5,84	200524,05	
65	200524,05	3,0			200524,05	3,0		
66	200524,05	6,90			200524,05	6,90		
67	200524,05	3,0			200524,05	3,0		
68	200524,05				200524,05			

Tab. A.20: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen Nr. 128 - 130

Achse Nr.	EC 250-Nr.128		EC 250-Nr.129		EC 250-Nr.130	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
1	131649	2,7	131649	2,7	131649	2,7
2	131519	14,	131519	14,	131519	14,
3	151079	2,8	151079	2,8	151079	2,8
4	151219	14,8	151219	14,8	151219	14,8
5	150769	2,8	150769	2,8	150769	2,8
6	150899	14,8	150899	14,8	150899	14,8
7	129144	2,8	129144	2,8	129144	2,8
8	129244	14,8	129244	14,8	129244	14,8
9	136374	2,8	136374	2,8	136374	2,8
10	136484	14,8	136484	14,8	136484	14,8
11	147669	2,8	147669	2,8	147669	2,8
12	147779	14,8	147779	14,8	147779	14,8
13	151149	2,8	151149	2,8	151149	2,8
14	151259	14,8	151259	14,8	151259	14,8
15	150449	2,8	150449	2,8	150449	2,8
16	150589	14,8	150589	14,8	150589	14,8
17	151149	2,8	151149	2,8	151149	2,8
18	151289	14,8	151289	14,8	151289	14,8
19	139784	2,8	139784	2,8	139784	2,8
20	139884	14,8	139884	14,8	139884	14,8

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.20: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen Nr. 128 - 130 (Fortsetzung)

Achse Nr.	EC 250-Nr.128		EC 250-Nr.129		EC 250-Nr.130	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
21	136184	2,8	136184	2,8	136184	2,8
22	136284	14,	136284	14,	136284	14,
23	134669	2,7	134669	2,7	134669	2,7
24	134789		134789	8,4	134789	8,4
25			131649	2,7	134789	2,7
26			131519	14,	134669	14,
27			151079	2,8	136284	2,8
28			151219	14,8	136184	14,8
29			150769	2,8	139884	2,8
30			150899	14,8	139784	14,8
31			129144	2,8	151289	2,8
32			129244	14,8	151149	14,8
33			136374	2,8	150589	2,8
34			136484	14,8	150449	14,8
35			147669	2,8	151259	2,8
36			147779	14,8	151149	14,8
37			151149	2,8	147779	2,8
38			151259	14,8	147669	14,8
39			150449	2,8	136484	2,8
40			150589	14,8	136374	14,8
41			151149	2,8	129244	2,8
42			151289	14,8	129144	14,8
43			139784	2,8	150899	2,8
44			139884	14,8	150769	14,8
45			136184	2,8	151219	2,8
46			136284	14,	151079	14,
47			134669	2,7	131519	2,7
48			134789		131649	

Tab. A.21: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen Nr. 131 - 132

Achse Nr.	EC 250-Nr.131		EC 250-Nr.132	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
1	134789	2,7	134789	2,7
2	134669	14,	134669	14,
3	136284	2,8	136284	2,8
4	136184	14,8	136184	14,8
5	139884	2,8	139884	2,8
6	139784	14,8	139784	14,8
7	151289	2,8	151289	2,8
8	151149	14,8	151149	14,8

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.21: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen Nr. 131 - 132
(Fortsetzung)

Achse Nr.	EC 250-Nr.131		EC 250-Nr.132	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
9	150589	2,8	150589	2,8
10	150449	14,8	150449	14,8
11	151259	2,8	151259	2,8
12	151149	14,8	151149	14,8
13	147779	2,8	147779	2,8
14	147669	14,8	147669	14,8
15	136484	2,8	136484	2,8
16	136374	14,8	136374	14,8
17	129244	2,8	129244	2,8
18	129144	14,8	129144	14,8
19	150899	2,8	150899	2,8
20	150769	14,8	150769	14,8
21	151219	2,8	151219	2,8
22	151079	14,	151079	14,
23	131519	2,7	131519	2,7
24	131649	8,4	131649	8,4
25	131649	2,7	134789	2,7
26	131519	14,	134669	14,
27	151079	2,8	136284	2,8
28	151219	14,8	136184	14,8
29	150769	2,8	139884	2,8
30	150899	14,8	139784	14,8
31	129144	2,8	151289	2,8
32	129244	14,8	151149	14,8
33	136374	2,8	150589	2,8
34	136484	14,8	150449	14,8
35	147669	2,8	151259	2,8
36	147779	14,8	151149	14,8
37	151149	2,8	147779	2,8
38	151259	14,8	147669	14,8
39	150449	2,8	136484	2,8
40	150589	14,8	136374	14,8
41	151149	2,8	129244	2,8
42	151289	14,8	129144	14,8
43	139784	2,8	150899	2,8
44	139884	14,8	150769	14,8
45	136184	2,8	151219	2,8
46	136284	14,	151079	14,
47	134669	2,7	131519	2,7
48	134789		131649	

Tab. A.22: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 1-4

Achse Nr.	ICE 4-1		ICE 4-2		ICE 4-3		ICE 4-4	
	$P [N]$	$AA [m]$						
1	157521,5	2,30	156421,5	2,30	157521,5	2,30	157521,5	2,30
2	157521,5	17,20	156421,5	17,20	157521,5	17,20	157521,5	17,20
3	158521,5	2,30	153921,5	2,30	158521,5	2,30	158521,5	2,30
4	158521,5	6,80	153921,5	6,95	158521,5	6,80	158521,5	6,80
5	181121,5	2,60	153721,5	2,30	181121,5	2,60	181121,5	2,60
6	181121,5	16,90	153721,5	17,20	181121,5	16,90	181121,5	16,90
7	182821,5	2,60	151821,5	2,30	182821,5	2,60	182821,5	2,60
8	182821,5	6,80	151821,5	6,80	182821,5	6,80	182821,5	6,80
9	157321,5	2,30	187021,5	2,60	157321,5	2,30	157321,5	2,30
10	157321,5	17,20	187021,5	16,90	157321,5	17,20	157321,5	17,20
11	162521,5	2,30	185821,5	2,60	162521,5	2,30	162521,5	2,30
12	162521,5	6,80	185821,5	6,65	162521,5	6,80	162521,5	6,80
13	181121,5	2,60	182821,5	2,60	181121,5	2,60	181121,5	2,60
14	181121,5	16,90	182821,5	16,90	181121,5	16,90	181121,5	16,90
15	182821,5	2,60	181121,5	2,60	182821,5	2,60	182821,5	2,60
16	182821,5	6,65	181121,5	6,80	182821,5	6,65	182821,5	6,65
17	185821,5	2,60	162521,5	2,30	185821,5	2,60	185821,5	2,60
18	185821,5	16,90	162521,5	17,20	185821,5	16,90	185821,5	16,90
19	187021,5	2,60	157321,5	2,30	187021,5	2,60	187021,5	2,60
20	187021,5	6,80	157321,5	6,80	187021,5	6,80	187021,5	6,80
21	151821,5	2,30	182821,5	2,60	151821,5	2,30	151821,5	2,30
22	151821,5	17,20	182821,5	16,90	151821,5	17,20	151821,5	17,20
23	153721,5	2,30	181121,5	2,60	153721,5	2,30	153721,5	2,30
24	153721,5	6,95	181121,5	6,80	153721,5	6,95	153721,5	6,95
25	153921,5	2,30	158521,5	2,30	153921,5	2,30	153921,5	2,30
26	153921,5	17,20	158521,5	17,20	153921,5	17,20	153921,5	17,20
27	156421,5	2,30	157521,5	2,30	156421,5	2,30	156421,5	2,30
28	156421,5		157521,5		156421,5	7,03	156421,5	7,03
29					157521,5	2,30	156421,5	2,30
30					157521,5	17,20	156421,5	17,20
31					158521,5	2,30	153921,5	2,30
32					158521,5	6,80	153921,5	6,95
33					181121,5	2,60	153721,5	2,30
34					181121,5	16,90	153721,5	17,20
35					182821,5	2,60	151821,5	2,30
36					182821,5	6,80	151821,5	6,80
37					157321,5	2,30	187021,5	2,60
38					157321,5	17,20	187021,5	16,90
39					162521,5	2,30	185821,5	2,60
40					162521,5	6,80	185821,5	6,65
41					181121,5	2,60	182821,5	2,60
42					181121,5	16,90	182821,5	16,90

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.22: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 1-4 (Fortsetzung)

Achse Nr.	ICE 4-1		ICE 4-2		ICE 4-3		ICE 4-4	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
43					182821,5	2,60	181121,5	2,60
44					182821,5	6,65	181121,5	6,80
45					185821,5	2,60	162521,5	2,30
46					185821,5	16,90	162521,5	17,20
47					187021,5	2,60	157321,5	2,30
48					187021,5	6,80	157321,5	6,80
49					151821,5	2,30	182821,5	2,60
50					151821,5	17,20	182821,5	16,90
51					153721,5	2,30	181121,5	2,60
52					153721,5	6,95	181121,5	6,80
53					153921,5	2,30	158521,5	2,30
54					153921,5	17,20	158521,5	17,20
55					156421,5	2,30	157521,5	2,30
56					156421,5		157521,5	

Tab. A.23: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 5-8

Achse Nr.	ICE 4-5		ICE 4-6		ICE 4-7		ICE 4-8	
	P [N]	AA [m]						
1	156421,5	2,30	156421,5	2,30	156896,4	2,30	157596,4	2,30
2	156421,5	17,20	156421,5	17,20	156896,4	17,20	157596,4	17,20
3	153921,5	2,30	153921,5	2,30	157896,4	2,30	157196,4	2,30
4	153921,5	6,95	153921,5	6,95	157896,4	6,80	157196,4	6,95
5	153721,5	2,30	153721,5	2,30	180796,4	2,60	161196,4	2,30
6	153721,5	17,20	153721,5	17,20	180796,4	16,90	161196,4	17,20
7	151821,5	2,30	151821,5	2,30	182596,4	2,60	158196,4	2,30
8	151821,5	6,80	151821,5	6,80	182596,4	6,65	158196,4	6,80
9	187021,5	2,60	187021,5	2,60	180796,4	2,60	181596,4	2,60
10	187021,5	16,90	187021,5	16,90	180796,4	16,90	181596,4	16,90
11	185821,5	2,60	185821,5	2,60	182596,4	2,60	182896,4	2,60
12	185821,5	6,65	185821,5	6,65	182596,4	6,80	182896,4	6,80
13	182821,5	2,60	182821,5	2,60	157496,4	2,30	152896,4	2,30
14	182821,5	16,90	182821,5	16,90	157496,4	17,20	152896,4	17,20
15	181121,5	2,60	181121,5	2,60	161896,4	2,30	151196,4	2,30
16	181121,5	6,80	181121,5	6,80	161896,4	6,80	151196,4	6,80
17	162521,5	2,30	162521,5	2,30	180796,4	2,60	187496,4	2,60
18	162521,5	17,20	162521,5	17,20	180796,4	16,90	187496,4	16,90
19	157321,5	2,30	157321,5	2,30	182596,4	2,60	187596,4	2,60
20	157321,5	6,80	157321,5	6,80	182596,4	6,65	187596,4	6,80
21	182821,5	2,60	182821,5	2,60	180796,4	2,60	160596,4	2,30
22	182821,5	16,90	182821,5	16,90	180796,4	16,90	160596,4	17,20
23	181121,5	2,60	181121,5	2,60	182596,4	2,60	158796,4	2,30

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.23: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 5-8 (Fortsetzung)

Achse Nr.	ICE 4-5		ICE 4-6		ICE 4-7		ICE 4-8	
	P [N]	AA [m]						
24	181121,5	6,80	181121,5	6,80	182596,4	6,80	158796,4	6,80
25	158521,5	2,30	158521,5	2,30	158796,4	2,30	182596,4	2,60
26	158521,5	17,20	158521,5	17,20	158796,4	17,20	182596,4	16,90
27	157521,5	2,30	157521,5	2,30	160596,4	2,30	180796,4	2,60
28	157521,5	7,03	157521,5	7,03	160596,4	6,80	180796,4	6,65
29	157521,5	2,30	156421,5	2,30	187596,4	2,60	182596,4	2,60
30	157521,5	17,20	156421,5	17,20	187596,4	16,90	182596,4	16,90
31	158521,5	2,30	153921,5	2,30	187496,4	2,60	180796,4	2,60
32	158521,5	6,80	153921,5	6,95	187496,4	6,80	180796,4	6,80
33	181121,5	2,60	153721,5	2,30	151196,4	2,30	161896,4	2,30
34	181121,5	16,90	153721,5	17,20	151196,4	17,20	161896,4	17,20
35	182821,5	2,60	151821,5	2,30	152896,4	2,30	157496,4	2,30
36	182821,5	6,80	151821,5	6,80	152896,4	6,80	157496,4	6,80
37	157321,5	2,30	187021,5	2,60	182896,4	2,60	182596,4	2,60
38	157321,5	17,20	187021,5	16,90	182896,4	16,90	182596,4	16,90
39	162521,5	2,30	185821,5	2,60	181596,4	2,60	180796,4	2,60
40	162521,5	6,80	185821,5	6,65	181596,4	6,80	180796,4	6,65
41	181121,5	2,60	182821,5	2,60	158196,4	2,30	182596,4	2,60
42	181121,5	16,90	182821,5	16,90	158196,4	17,20	182596,4	16,90
43	182821,5	2,60	181121,5	2,60	161196,4	2,30	180796,4	2,60
44	182821,5	6,65	181121,5	6,80	161196,4	6,95	180796,4	6,80
45	185821,5	2,60	162521,5	2,30	157196,4	2,30	157896,4	2,30
46	185821,5	16,90	162521,5	17,20	157196,4	17,20	157896,4	17,20
47	187021,5	2,60	157321,5	2,30	157596,4	2,30	156896,4	2,30
48	187021,5	6,80	157321,5	6,80	157596,4		156896,4	
49	151821,5	2,30	182821,5	2,60				
50	151821,5	17,20	182821,5	16,90				
51	153721,5	2,30	181121,5	2,60				
52	153721,5	6,95	181121,5	6,80				
53	153921,5	2,30	158521,5	2,30				
54	153921,5	17,20	158521,5	17,20				
55	156421,5	2,30	157521,5	2,30				
56	156421,5		157521,5					

Tab. A.24: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet A, B Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-A1		RJ-A2		RJ-B1		RJ-B2	
	P [N]	AA [m]						
1	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	205620,35	3,0
2	205320,56	6,90	135620,35	16,50	205320,56	6,90	205620,35	6,90
3	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	205620,35	3,0
4	205320,56	6,04	135620,35	5,0	205320,56	6,38	205620,35	5,69

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.24: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-A1		RJ-A2		RJ-B1		RJ-B2	
	P [N]	AA [m]						
5	135320,56	2,50	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
6	135320,56	16,50	135620,35	16,50	205320,56	6,90	135620,35	16,50
7	135320,56	2,50	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
8	135320,56	5,0	135620,35	5,0	205320,56	5,69	135620,35	5,0
9	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
10	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
11	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
12	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
13	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
14	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
15	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
16	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
17	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
18	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
19	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
20	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
21	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
22	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
23	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
24	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
25	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
26	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
27	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
28	135320,56	5,0	135620,35	5,69	135320,56	5,0	135620,35	5,0
29	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	135620,35	2,50
30	135320,56	16,50	205620,35	6,90	135320,56	16,50	135620,35	16,50
31	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	135620,35	2,50
32	135320,56	5,69	205620,35	6,38	135320,56	5,0	135620,35	6,04
33	205320,56	3,0	205620,35	3,0	135320,56	2,50	205620,35	3,0
34	205320,56	6,90	205620,35	6,90	135320,56	16,50	205620,35	6,90
35	205320,56	3,0	205620,35	3,0	135320,56	2,50	205620,35	3,0
36	205320,56	6,38	205620,35	5,69	135320,56	6,04	205620,35	5,69
37	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
38	205320,56	6,90	135620,35	16,50	205320,56	6,90	135620,35	16,50
39	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
40	205320,56	5,69	135620,35	5,0	205320,56	5,69	135620,35	5,0
41	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
42	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
43	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
44	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
45	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
46	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.24: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-A1		RJ-A2		RJ-B1		RJ-B2	
	P [N]	AA [m]						
47	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
48	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
49	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
50	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
51	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
52	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
53	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
54	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
55	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
56	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
57	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
58	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
59	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
60	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
61	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
62	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
63	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
64	135320,56	5,0	135620,35		135320,56	5,0	135620,35	
65	135320,56	2,50			135320,56	2,50		
66	135320,56	16,50			135320,56	16,50		
67	135320,56	2,50			135320,56	2,50		
68	135320,56				135320,56			

Tab. A.25: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet C, D Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-C1		RJ-C2		RJ-D1		RJ-D2	
	P [N]	AA [m]						
1	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	205620,35	3,0
2	205320,56	6,90	135620,35	16,50	205320,56	6,90	205620,35	6,90
3	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	205620,35	3,0
4	205320,56	6,04	135620,35	5,0	205320,56	6,38	205620,35	5,69
5	135320,56	2,50	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
6	135320,56	16,50	135620,35	16,50	205320,56	6,90	135620,35	16,50
7	135320,56	2,50	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
8	135320,56	5,0	135620,35	5,0	205320,56	5,69	135620,35	5,0
9	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
10	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
11	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
12	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
13	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
14	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.25: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-C1		RJ-C2		RJ-D1		RJ-D2	
	P [N]	AA [m]						
15	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
16	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
17	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
18	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
19	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
20	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
21	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
22	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
23	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
24	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
25	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
26	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
27	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
28	135320,56	5,0	135620,35	5,69	135320,56	5,0	135620,35	5,0
29	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	135620,35	2,50
30	135320,56	16,50	205620,35	6,90	135320,56	16,50	135620,35	16,50
31	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	135620,35	2,50
32	135320,56	5,69	205620,35	6,04	135320,56	5,0	135620,35	5,70
33	205320,56	3,0	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
34	205320,56	6,90	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
35	205320,56	3,0	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
36	205320,56	6,04	135620,35	5,0	135320,56	5,70	135620,35	5,0
37	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
38	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
39	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
40	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
41	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
42	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
43	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
44	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
45	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
46	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
47	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
48	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
49	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
50	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
51	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
52	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
53	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
54	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
55	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
56	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.25: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-C1		RJ-C2		RJ-D1		RJ-D2	
	P [N]	AA [m]						
57	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
58	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
59	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
60	135320,56	5,0	135620,35	5,69	135320,56	5,0	135620,35	5,69
61	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	205620,35	3,0
62	135320,56	16,50	205620,35	6,90	135320,56	16,50	205620,35	6,90
63	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	205620,35	3,0
64	135320,56	5,69	205620,35		135320,56	5,69	205620,35	
65	205320,56	3,0			205320,56	3,0		
66	205320,56	6,90			205320,56	6,90		
67	205320,56	3,0			205320,56	3,0		
68	205320,56				205320,56			

Tab. A.26: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet E, F Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-E1		RJ-E2		RJ-F1		RJ-F2	
	P [N]	AA [m]						
1	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	205620,35	3,0
2	205320,56	6,90	135620,35	16,50	205320,56	6,90	205620,35	6,90
3	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	205620,35	3,0
4	205320,56	6,19	135620,35	5,0	205320,56	6,68	205620,35	5,84
5	135320,56	2,50	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
6	135320,56	16,50	135620,35	16,50	205320,56	6,90	135620,35	16,50
7	135320,56	2,50	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
8	135320,56	5,0	135620,35	5,0	205320,56	5,84	135620,35	5,0
9	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
10	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
11	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
12	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
13	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
14	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
15	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
16	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
17	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
18	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
19	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
20	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
21	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
22	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
23	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
24	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.26: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-E1		RJ-E2		RJ-F1		RJ-F2	
	P [N]	AA [m]						
25	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
26	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
27	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
28	135320,56	5,0	135620,35	5,84	135320,56	5,0	135620,35	5,0
29	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	135620,35	2,50
30	135320,56	16,50	205620,35	6,90	135320,56	16,50	135620,35	16,50
31	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	135620,35	2,50
32	135320,56	5,84	205620,35	6,68	135320,56	5,0	135620,35	6,19
33	205320,56	3,0	205620,35	3,0	135320,56	2,50	205620,35	3,0
34	205320,56	6,90	205620,35	6,90	135320,56	16,50	205620,35	6,90
35	205320,56	3,0	205620,35	3,0	135320,56	2,50	205620,35	3,0
36	205320,56	6,68	205620,35	5,84	135320,56	6,19	205620,35	5,84
37	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
38	205320,56	6,90	135620,35	16,50	205320,56	6,90	135620,35	16,50
39	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
40	205320,56	5,84	135620,35	5,0	205320,56	5,84	135620,35	5,0
41	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
42	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
43	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
44	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
45	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
46	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
47	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
48	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
49	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
50	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
51	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
52	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
53	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
54	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
55	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
56	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
57	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
58	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
59	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
60	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
61	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
62	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
63	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
64	135320,56	5,0	135620,35		135320,56	5,0	135620,35	
65	135320,56	2,50			135320,56	2,50		
66	135320,56	16,50			135320,56	16,50		

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.26: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-E1		RJ-E2		RJ-F1		RJ-F2	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
67	135320,56	2,50			135320,56	2,50		
68	135320,56				135320,56			

Tab. A.27: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet G, H Konfigurationen

Achse Nr.	RJ-G1		RJ-G2		RJ-H1		RJ-H2	
	P [N]	AA [m]						
1	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	205620,35	3,0
2	205320,56	6,90	135620,35	16,50	205320,56	6,90	205620,35	6,90
3	205320,56	3,0	135620,35	2,50	205320,56	3,0	205620,35	3,0
4	205320,56	5,84	135620,35	5,0	205320,56	6,68	205620,35	5,84
5	135320,56	2,50	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
6	135320,56	16,50	135620,35	16,50	205320,56	6,90	135620,35	16,50
7	135320,56	2,50	135620,35	2,50	205320,56	3,0	135620,35	2,50
8	135320,56	5,0	135620,35	5,0	205320,56	5,84	135620,35	5,0
9	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
10	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
11	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
12	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
13	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
14	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
15	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
16	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
17	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
18	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
19	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
20	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
21	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
22	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
23	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
24	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
25	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
26	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
27	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
28	135320,56	5,0	135620,35	5,84	135320,56	5,0	135620,35	5,0
29	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	135620,35	2,50
30	135320,56	16,50	205620,35	6,90	135320,56	16,50	135620,35	16,50
31	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	135620,35	2,50
32	135320,56	6,19	205620,35	6,19	135320,56	5,0	135620,35	5,70
33	205320,56	3,0	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
34	205320,56	6,90	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.27: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet G, H Konfigurationen (Fortsetzung)

Achse Nr.	RJ-G1		RJ-G2		RJ-H1		RJ-H2	
	P [N]	AA [m]						
35	205320,56	3,0	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
36	205320,56	5,84	135620,35	5,0	135320,56	5,70	135620,35	5,0
37	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
38	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
39	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
40	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
41	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
42	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
43	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
44	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
45	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
46	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
47	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
48	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
49	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
50	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
51	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
52	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
53	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
54	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
55	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
56	135320,56	5,0	135620,35	5,0	135320,56	5,0	135620,35	5,0
57	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
58	135320,56	16,50	135620,35	16,50	135320,56	16,50	135620,35	16,50
59	135320,56	2,50	135620,35	2,50	135320,56	2,50	135620,35	2,50
60	135320,56	5,0	135620,35	5,84	135320,56	5,0	135620,35	5,84
61	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	205620,35	3,0
62	135320,56	16,50	205620,35	6,90	135320,56	16,50	205620,35	6,90
63	135320,56	2,50	205620,35	3,0	135320,56	2,50	205620,35	3,0
64	135320,56	5,84	205620,35		135320,56	5,84	205620,35	
65	205320,56	3,0			205320,56	3,0		
66	205320,56	6,90			205320,56	6,90		
67	205320,56	3,0			205320,56	3,0		
68	205320,56				205320,56			

Tab. A.28: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 128 - 130)

Achse Nr.	EC 250-Nr.128		EC 250-Nr.129		EC 250-Nr.130	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
1	132589	2,7	132589	2,7	132589	2,7
2	132459	14,	132459	14,	132459	14,
3	146869	2,8	146869	2,8	146869	2,8
4	147009	14,8	147009	14,8	147009	14,8
5	146559	2,8	146559	2,8	146559	2,8
6	146689	14,8	146689	14,8	146689	14,8
7	134989	2,8	134989	2,8	134989	2,8
8	135089	14,8	135089	14,8	135089	14,8
9	142219	2,8	142219	2,8	142219	2,8
10	142329	14,8	142329	14,8	142329	14,8
11	143459	2,8	143459	2,8	143459	2,8
12	143569	14,8	143569	14,8	143569	14,8
13	146939	2,8	146939	2,8	146939	2,8
14	147049	14,8	147049	14,8	147049	14,8
15	146239	2,8	146239	2,8	146239	2,8
16	146379	14,8	146379	14,8	146379	14,8
17	146939	2,8	146939	2,8	146939	2,8
18	147079	14,8	147079	14,8	147079	14,8
19	145629	2,8	145629	2,8	145629	2,8
20	145729	14,8	145729	14,8	145729	14,8
21	142029	2,8	142029	2,8	142029	2,8
22	142129	14,	142129	14,	142129	14,
23	135609	2,7	135609	2,7	135609	2,7
24	135729		135729	8,4	135729	8,4
25			132589	2,7	135729	2,7
26			132459	14,	135609	14,
27			146869	2,8	142129	2,8
28			147009	14,8	142029	14,8
29			146559	2,8	145729	2,8
30			146689	14,8	145629	14,8
31			134989	2,8	147079	2,8
32			135089	14,8	146939	14,8
33			142219	2,8	146379	2,8
34			142329	14,8	146239	14,8
35			143459	2,8	147049	2,8
36			143569	14,8	146939	14,8
37			146939	2,8	143569	2,8
38			147049	14,8	143459	14,8
39			146239	2,8	142329	2,8
40			146379	14,8	142219	14,8
41			146939	2,8	135089	2,8

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.28: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 128 - 130) (Fortsetzung)

Achse Nr.	EC 250-Nr.128		EC 250-Nr.129		EC 250-Nr.130	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
42			147079	14,8	134989	14,8
43			145629	2,8	146689	2,8
44			145729	14,8	146559	14,8
45			142029	2,8	147009	2,8
46			142129	14,	146869	14,
47			135609	2,7	132459	2,7
48			135729		132589	

Tab. A.29: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 131 - 132)

Achse Nr.	EC 250-Nr.131		EC 250-Nr.132	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
1	135729	2,7	135729	2,7
2	135609	14,	135609	14,
3	142129	2,8	142129	2,8
4	142029	14,8	142029	14,8
5	145729	2,8	145729	2,8
6	145629	14,8	145629	14,8
7	147079	2,8	147079	2,8
8	146939	14,8	146939	14,8
9	146379	2,8	146379	2,8
10	146239	14,8	146239	14,8
11	147049	2,8	147049	2,8
12	146939	14,8	146939	14,8
13	143569	2,8	143569	2,8
14	143459	14,8	143459	14,8
15	142329	2,8	142329	2,8
16	142219	14,8	142219	14,8
17	135089	2,8	135089	2,8
18	134989	14,8	134989	14,8
19	146689	2,8	146689	2,8
20	146559	14,8	146559	14,8
21	147009	2,8	147009	2,8
22	146869	14,	146869	14,
23	132459	2,7	132459	2,7
24	132589	8,4	132589	8,4
25	132589	2,7	135729	2,7
26	132459	14,	135609	14,
27	146869	2,8	142129	2,8
28	147009	14,8	142029	14,8

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.29: Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 131 - 132) (Fortsetzung)

Achse Nr.	EC 250-Nr.131		EC 250-Nr.132	
	P [N]	AA [m]	P [N]	AA [m]
29	146559	2,8	145729	2,8
30	146689	14,8	145629	14,8
31	134989	2,8	147079	2,8
32	135089	14,8	146939	14,8
33	142219	2,8	146379	2,8
34	142329	14,8	146239	14,8
35	143459	2,8	147049	2,8
36	143569	14,8	146939	14,8
37	146939	2,8	143569	2,8
38	147049	14,8	143459	14,8
39	146239	2,8	142329	2,8
40	146379	14,8	142219	14,8
41	146939	2,8	135089	2,8
42	147079	14,8	134989	14,8
43	145629	2,8	146689	2,8
44	145729	14,8	146559	14,8
45	142029	2,8	147009	2,8
46	142129	14,	146869	14,
47	135609	2,7	132459	2,7
48	135729		132589	

Tab. A.30: kritische Überfahrgeschwindigkeit

TW Nr.	$v_{crit,ICE\ 4}$ [km/h]	$v_{crit,RJ}$ [km/h]	$v_{crit,EC\ 250}$ [km/h]
1	313,95	289,38	286,65
2	313,95	289,38	286,65
3	313,95	289,38	286,65
4	250,99	231,35	305,55
5	320,85	295,74	292,95
6	253,58	311,64	308,70
7	279,45	257,58	255,15
8	243,23	224,19	296,10
9	279,45	193,19	255,15
10	231,68	252,38	261,90
11	231,68	252,38	261,90
12	269,10	248,04	245,70
13	242,71	223,71	295,47
14	233,39	215,13	284,13
15	234,60	162,18	107,10
16	267,03	246,13	325,08
17	336,38	310,05	204,75

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.30: kritische Überfahrgeschwindigkeit (Fortsetzung)

TW Nr.	$v_{crit,ICE\ 4}$ [km/h]	$v_{crit,RJ}$ [km/h]	$v_{crit,EC\ 250}$ [km/h]
18	297,56	182,85	181,13
19	178,02	328,18	216,72
20	153,77	330,72	327,60
21	153,77	330,72	327,60
22	306,36	282,38	279,72
23	163,79	241,55	159,52
24	214,25	197,48	260,82
25	228,74	210,83	208,85
26	228,74	210,83	208,85
27	296,01	272,84	180,18
28	188,11	231,19	229,01
29	214,48	222,40	195,83
30	204,93	212,50	187,11
31	178,54	219,42	217,35
32	182,85	168,54	166,95
33	189,41	116,39	230,58
34	262,46	290,30	273,87
35	263,06	290,97	274,50
36	193,55	198,22	294,53
37	193,55	198,22	294,53
38	118,34	327,22	216,09
39	118,68	328,18	216,72
40	342,59	315,77	208,53
41	342,59	315,77	208,53
42	331,98	306,00	134,72
43	331,98	306,00	134,72
44	288,42	265,85	263,34
45	288,42	265,85	263,34
46	332,49	306,47	269,85
47	331,46	305,52	269,01
48	332,49	306,47	269,85
49	331,46	305,52	269,01
50	341,55	314,82	311,85
51	341,55	314,82	311,85
52	207,00	333,90	294,00
53	207,00	333,90	294,00
54	258,75	238,50	236,25
55	258,75	238,50	236,25
56	292,39	134,75	177,98
57	292,39	134,75	177,98
58	162,15	168,14	222,08
59	162,15	168,14	222,08
60	279,45	257,58	238,14
61	226,22	208,52	192,78

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. A.30: kritische Überfahrgeschwindigkeit (Fortsetzung)

TW Nr.	$v_{crit,ICE\ 4}$ [km/h]	$v_{crit,RJ}$ [km/h]	$v_{crit,EC\ 250}$ [km/h]
62	283,59	261,40	258,93
63	195,62	257,58	238,14
64	330,86	304,96	302,09
65	141,45	146,68	154,98
66	316,71	291,92	289,17
67	282,90	260,76	258,30
68	282,90	260,76	258,30
69	282,90	260,76	258,30
70	274,85	285,01	301,14
71	274,85	285,01	301,14
72	279,45	257,58	255,15
73	279,45	257,58	255,15
74	296,70	205,11	270,90
75	296,70	205,11	270,90

Abbildungsverzeichnis

2.1	Gerader Balken mit konstanten Querschnittseigenschaften nach [3]	4
2.2	Überfahrt unter bewegten Lasten <i>moving load model</i> (MLM) nach [3]	8
2.3	Interaktionsmodell des Mehrkörpersystems - <i>detailed interaction model</i> (DIM) nach [3]	9
2.4	Kopplung des Fahrzeug an das Brückentragwerk nach [3]	10
2.5	äquidistanter Lastabstand d gem. <i>Domenech et. al.</i> [6]	13
3.1	Einteilung der Brückentragwerke	15
3.2	Zusatzdämpfung $\Delta\zeta$ gemäß [7]	17
3.3	Zugtypen: Links: ICE 4 (Siemens AG [9]), Rechts: Railjet (Siemens AG [9]), Unten: EC 250 (Stadler Rail AG [10])	18
3.4	Konfiguration ICE 4 <i>7-Teiler</i> gem. TU Datenbank	19
3.5	Konfiguration ICE 4 <i>12-Teiler</i> gem. TU Datenbank	19
3.6	Konfiguration Railjet gem. TU Datenbank	20
3.7	Konfiguration EC 250 gem. TU Datenbank	21
3.8	Zusatzmasse 2000 kg/m gem. ÖBB [1]	22
3.9	Zusatzmasse aus verschmierter Radsatzlast gem. <i>Stollwitzer</i> [4]	24
3.10	Zusatzmasse aus verschmierter Radsatzlast und reduzierte Achslasten gem. <i>Stollwitzer</i> [4]	24
3.11	Zusatzmasse aus verschmierter Radsatzlast	25
3.12	Balken mit Punktlasten M	25
3.13	Balken mit Gleichlast $\Delta\mu$ aus Äquivalenzbedingung	25
3.14	Balken mit Punktlast M	27
3.15	Ein Radsatz in Brückenmitte	29
3.16	Zwei Radsätze auf der Brücke, untere Grenze	29
3.17	Zwei Radsätze auf der Brücke, obere Grenze	29
3.18	Zwei Radsätze auf der Brücke, untere Grenze	30
3.19	Zwei Radsätze auf der Brücke, obere Grenze	30
3.20	Drei Radsätze auf der Brücke, untere Grenze	31
3.21	Drei Radsätze auf der Brücke, obere Grenze	31
3.22	Vier Radsätze auf der Brücke, untere Grenze	32
3.23	Vier Radsätze auf der Brücke, obere Grenze	32
3.24	Vier Radsätze auf der Brücke, mittige Anordnung	33
3.25	Zusatzmasse aus verschmierter Radsatzlast und reduzierte Radsatzmassen	33
4.1	Beschleunigungsverlauf nach MLM	36
4.2	Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 1	37
4.3	Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 2	38
4.4	Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 3	39
4.5	Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 4	40
4.6	Beschleunigungsverlauf nach MLM - Ansatz 5	41
4.7	Zeitlicher Beschleunigungsverlauf des Railjet D1	43

4.8	Geschwindigkeitsverlauf der Vertikalbeschleunigung des Railjet D1	44
4.9	Geschwindigkeitsverlauf der Vertikalbeschleunigung aller Railjet Konfigurationen	45
4.10	Abweichung der Beschleunigungsspitzen und zugehörigen Geschwindigkeiten der ICE 4 Konfigurationen: MLM-DIM	48
4.11	Abweichung der Beschleunigungsspitzen und zugehörigen Geschwindigkeiten der Railjet Konfigurationen: MLM-DIM	50
4.12	Abweichung der Beschleunigungsspitzen und zugehörigen Geschwindigkeiten der EC 250 Konfigurationen: MLM-DIM	52
4.13	Hauptparameter	56
4.14	Ergebnisdarstellung nach Hauptparameter β_d	58
4.15	Ergebnisdarstellung nach Hauptparameter μ_b	59
4.16	Ergebnisdarstellung nach Hauptparameter η_p	60
5.1	Schritte der Beaufschlagung der Masse	63
5.2	Schritte der Beaufschlagung der Masse und Dämpfung	64
5.3	Schritte der Beaufschlagung der Dämpfung und Masse	65
5.4	Zusatzmasse der Brückentragwerke	66
5.5	Zusatzmasse bei variabler Dämpfung	68
5.6	Zusatzdämpfung bei variabler Zusatzmasse	69
5.7	Allgemeine Empfehlung der Zusatzmasse bei variabler Zusatzdämpfung	72
5.8	Allgemeine Empfehlung der Zusatzdämpfung bei variabler Zusatzmasse	73

Tabellenverzeichnis

3.1	Dämpfung für Brücken mit einer Spannweite $L < 20m$	16
3.2	Dämpfung für Brücken mit einer Spannweite $L \geq 20m$	16
3.3	Konfigurationen des ICE 4	19
3.4	Konfigurationen des Railjets	21
3.5	Konfigurationen des EC 250	22
4.1	Wagenlänge d_w der drei Zugtypen	42
4.2	Beschleunigungswerte der Railjet Konfigurationen (TW 1)	46
4.3	Geschwindigkeitswerte der Railjet Konfigurationen (TW 1)	46
4.3	Geschwindigkeitswerte der Railjet Konfigurationen (TW 1) (Fortsetzung)	47
4.4	Verhältnis a_{MLM}/a_{DIM} der Überfahrten - MLM	54
5.1	Abweichungen der Resonanzgeschwindigkeiten des MLM zum DIM	67
6.1	Empfehlungen der Ansätze nach <i>moving load model</i>	74
A.1	Brückentragwerke gem. TU Datenbank	77
A.1	Brückentragwerke gem. TU Datenbank (Fortsetzung)	78
A.1	Brückentragwerke gem. TU Datenbank (Fortsetzung)	79
A.2	Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der ICE · 4 und Railjet Konfigurationen	79
A.2	Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der ICE · 4 und Railjet Konfigurationen (Fortsetzung)	80
A.3	Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der Railjet Konfigurationen	81
A.3	Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der Railjet Konfigurationen (Fortsetzung)	82
A.4	Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen	83
A.4	Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 2 und Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen (Fortsetzung)	84
A.5	Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 4 und Ansatz 5 der Zugkonfigurationen	85
A.5	Brückenmassen der Berechnung nach Ansatz 4 und Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Fortsetzung)	86
A.6	Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 1-4	87
A.6	Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 1-4 (Fortsetzung)	88
A.7	Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 5-8	88
A.7	Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 5-8 (Fortsetzung)	89

A.8 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet A, B Konfigurationen	90
A.8 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)	91
A.9 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet C, D Konfigurationen	91
A.9 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)	92
A.9 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)	93
A.10 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet E, F Konfigurationen	93
A.10 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)	94
A.10 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)	95
A.11 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet G, H Konfigurationen	95
A.11 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der Railjet G, H Konfigurationen (Fortsetzung)	96
A.12 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 128 - 130)	97
A.12 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 128 - 130) (Fortsetzung)	98
A.13 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 131 - 132)	98
A.13 Zugdaten der Berechnung nach MLM, Ansatz 1, Ansatz 2 und Ansatz 4 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 131 - 132) (Fortsetzung)	99
A.14 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der ICE 4 Nr. 1-4	99
A.14 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der ICE 4 Nr. 1-4 (Fortsetzung)	100
A.15 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der ICE 4 Nr. 5-8	101
A.15 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der ICE 4 Nr. 5-8 (Fortsetzung)	102
A.16 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet A, B Konfigurationen	102
A.16 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)	103
A.16 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)	104
A.17 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet C, D Konfigurationen	104
A.17 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)	105
A.18 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet E, F Konfigurationen	106
A.18 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)	107
A.19 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet G, H Konfigurationen	107
A.19 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet G, H Konfigurationen (Fortsetzung)	108
A.19 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der Railjet G, H Konfigurationen (Fortsetzung)	109
A.20 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen Nr. 128 - 130	109

A.20 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen Nr. 128 - 130 (Fortsetzung)	110
A.21 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen Nr. 131 - 132	110
A.21 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 3 der EC 250 Konfigurationen Nr. 131 - 132 (Fortsetzung)	111
A.22 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 1-4	112
A.22 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 1-4 (Fortsetzung)	113
A.23 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 5-8	113
A.23 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 4 der ICE 4 Nr. 5-8 (Fortsetzung)	114
A.24 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet A, B Konfigurationen	114
A.24 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)	115
A.24 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet A, B Konfigurationen (Fortsetzung)	116
A.25 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet C, D Konfigurationen	116
A.25 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)	117
A.25 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet C, D Konfigurationen (Fortsetzung)	118
A.26 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet E, F Konfigurationen	118
A.26 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)	119
A.26 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet E, F Konfigurationen (Fortsetzung)	120
A.27 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet G, H Konfigurationen	120
A.27 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der Railjet G, H Konfigurationen (Fortsetzung)	121
A.28 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 128 - 130)	122
A.28 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 128 - 130) (Fortsetzung)	123
A.29 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 131 - 132)	123
A.29 Zugdaten der Berechnung nach Ansatz 5 der EC 250 Konfigurationen (Nr. 131 - 132) (Fortsetzung)	124
A.30 kritische Überfahrgeschwindigkeit	124
A.30 kritische Überfahrgeschwindigkeit (Fortsetzung)	125
A.30 kritische Überfahrgeschwindigkeit (Fortsetzung)	126



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Literaturverzeichnis

- [1] ÖBB Infrastruktur: *Richtlinie zur dynamischen Berechnung von Eisenbahnbrücken*. ÖBB Infrastruktur, Ausgabe: 2011-02-01
- [2] Franz Ziegler: *Technische Mechanik der festen und flüssigen Körper*. Dritte, verbesserte Auflage. SpringerWienNewYork, 1998. ISBN: 3-211-83193-2
- [3] Tobias Christoph Mähr: *Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum dynamischen Verhalten von Eisenbahnbrücken mit Schotteroberbau unter Verkehrslast*. Dissertation, TU Wien, 2008/09
- [4] Andreas Stollwitzer: *Entwicklung eines alternativen Berechnungsansatzes für das Moving Load Model zur dynamischen Berechnung von Eisenbahnbrücken*. Diplomarbeit, TU Wien, 2017
- [5] Leon Vincent Treder: *Vorschlag einer alternativen Formulierung der fiktiven Zusatzdämpfung für Eisenbahnbrücken*. Diplomarbeit, TU Wien, 2017
- [6] A. Doménech, P. Museros, M.D. Martínez-Rodrigo: *Influence of the vehicle model on the prediction of the maximum bending response of simply-supported bridges under high-speed railway traffic*. Engineering Structures, 2014
- [7] ÖNORM EN 1991-2: *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke- Teil 2 : Verkehrslasten auf Brücken*. Austrian Standards, 2012-03-01
- [8] Siemens AG: *ICE 4 (BR 412) Hochgeschwindigkeitszüge*; München, 2016. URL: https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/de/rail-solutions/high-speed-and-intercity-trains/icx/datenblatt_ice_4_de.pdf (Zugriff am 03.07.2018).
- [9] Siemens AG: *ICE 4, ÖBB Railjet*; München, 2018. URL: <https://www.siemens.com/presse> (Zugriff am 16.07.2018).
- [10] Stadler Rail AG: *EC 250*; Schweiz, 2018. URL: <https://www.stadlerrail.com/de/meta/news-medien/medien-downloads/> (Zugriff am 16.07.2018).