

DIPLOMARBEIT Master Thesis

Vereinfachung der Lastansätze gemäß ÖNORM EN 1991-2 für Eisenbahnbrücken – Plattenbrücken und Rahmenbrücken

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.–Ing. M.Eng. Johann Kollegger

E212-2

Institut für Tragkonstruktionen / Betonbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Sascha Grubmüller

Mat.nr.: 9826959

Kontakt. Sascha Grubmüller
Landgutstraße 13d/2
4040 Linz

Wien, am 28. Jänner 2010

Mein erster Dank geht an
Herrn Professor Dipl.-Ing. Dr.–Ing. Johann Kollegger
für die fachliche Unterstützung seitens der Universität.

An dieser Stelle möchte ich mich bei meiner Frau,
Mag.^a Karoline Grubmüller
für ihr Verständnis, ihre Unterstützung und ihre Liebe
ganz besonders bedanken.

Für die fachkundige Unterstützung und wissenschaftliche Betreuung
bedanke ich mich ganz besonders bei

Dipl.-Ing. Dr.techn. Vladimir Benko
OBR Dipl.-Ing. Helmut Brunner.

ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Wien, am 28. Jänner 2010

KURZFASSUNG

Die gegenständliche Arbeit befasst sich mit der Fragestellung, wie sich die einzelnen Lastaspekte der ÖNORM EN 1991-2 bzw. der ÖNORM B 1991-2 bei unterschiedlichen Brückensystemen auswirken. Zu diesem Zweck wurde eine Parameterstudie bei Platten- und Rahmenbrücken mit unterschiedlichen Stützweiten durchgeführt. Bei dieser Parameterstudie wurde ein praxisübliches Rechenmodell (Stabtragwerk) mit vereinfachten Lastenansätzen einem genauen Finite Elemente Rechenmodell mit den gesamten Lastansätzen gemäß ÖNORM gegenübergestellt. Das Ergebnis der Studie lässt es zu, Platten- und Rahmenbrücken mit Stützweiten von 2 bis 15 Meter unter Einführung eines Faktors bei Verwendung von vereinfachten Lastansätzen zu berechnen ohne die gesamte ÖNORM anwenden zu müssen.

ABSTRACT

This master thesis deals with the question which impact the various loads of ÖNORM EN 1991-2 and ÖNORM B 1991-2 have on different bridge systems. Therefore a parameter study was conducted on slab bridges and frame bridges with differing spans. In this study a conventional mathematical model (beam frame) with simplified loads was compared to an exact finite element model including all loads according to ÖNORM. The result of the study allows for estimating slab bridges and frame bridges of spans between 2 and 15 metres by inserting a factor using simplified loads without having to apply the whole ÖNORM.

Inhaltsverzeichnis:

1.	EINLEITUNG	1
1.1.	ALLGEMEINES	1
1.2.	AUFGABENSTELLUNG	1
1.3.	VERWENDETE SOFTWARE	2
1.4.	ÜBERSICHT DER NORMEN.....	3
1.4.1.	<i>Normen für Einwirkungen</i>	3
1.4.2.	<i>Normen für Überlagerungen</i>	4
2.	SYSTEMANGABEN	5
2.1.	ALLGEMEINES	5
2.2.	GESCHWINDIGKEITEN, RADII UND ÜBERHÖHUNGEN	5
2.3.	SYSTEME IM LÄNGSSCHNITT	6
2.4.	SYSTEME IM QUERSCHNITT	7
2.5.	LAGERUNG DER SYSTEME	7
2.6.	VERWENDETE MATERIALIEN	8
2.7.	RECHENMODELLE UND MODELLIERUNGEN.....	9
2.7.1.	<i>vereinfachte ebene Rechenmodelle</i>	9
2.7.2.	<i>genaue räumliche Rechenmodelle</i>	10
3.	EINWIRKUNGEN	11
3.1.	STÄNDIGE EINWIRKUNG NACH EN 1991-1-1.....	11
3.1.1.	<i>Eigengewicht der Konstruktion</i>	11
3.1.2.	<i>Ständige Auflasten</i>	11
3.2.	VERÄNDERLICHE EINWIRKUNGEN.....	13
3.2.1.	<i>Vertikallasten infolge Zugverkehr (gemäß ÖNORM EN 1991-2 (6.3))</i>	13
3.2.2.	<i>Horizontallasten</i>	18
3.2.3.	<i>Außergewöhnliche Einwirkungen</i>	21
3.2.4.	<i>Allgemeines zu den Verkehrslasten aus Zugverkehr</i>	23
3.2.5.	<i>Temperatureinwirkungen</i>	24
3.2.6.	<i>Windeinwirkungen</i>	26
3.2.7.	<i>Verkehrserddruck bei Rahmentragwerken</i>	28
3.3.	LASTEINGABE FÜR EBENE VEREINFACHTE BERECHNUNG	29
3.3.1.	<i>Ständige Lasten</i>	29
3.3.2.	<i>Verkehrslasten</i>	29

3.4.	LASTEINGABE FÜR RÄUMLICHE GENAUE BERECHNUNG	34
3.4.1.	<i>Ständige Lasten</i>	34
3.4.2.	<i>Verkehrslasten</i>	35
4.	KOMBINATION FÜR TRAGSICHERHEIT (ULS)	58
5.	ÜBERLEGUNGEN ZUR REDUKTION DER LASTANSÄTZE.....	60
6.	SCHNITTKRAFTBERECHNUNG (VERKEHRSLASTEN).....	61
6.1.	VEREINFACHTES SYSTEM.....	61
6.1.1.	<i>Rahmen</i>	61
6.1.2.	<i>Einfeldtragwerk</i>	62
6.2.	GENAUES SYSTEM.....	63
6.2.1.	<i>Rahmen</i>	63
6.2.2.	<i>Einfeldtragwerk</i>	65
7.	ERGEBNISSE EINES SYSTEMS.....	66
7.1.	VEREINFACHTE BERECHNUNG, LASTEN VERTEILT BIS OBERKANTE TRAGWERK	66
7.2.	GENAUE BERECHNUNG, LASTEN VERTEILT BIS OBERKANTE TRAGWERK.....	69
7.2.1.	<i>Modell mit FE-Netz:</i>	69
7.2.2.	<i>Schnittkrafteergebnisse der einzelnen Lastanteile</i>	69
7.2.3.	<i>Bildung der Verkehrslastgruppen für die Biegemomente</i>	83
7.3.	VERGLEICH DER VEREINFACHTEN STABWERKSBERECHNUNG MIT DER GENAUEN RÄUMLICHEN BERECHNUNG	86
8.	VERGLEICH DER SCHNITTKRÄFTE	87
8.1.	RAHMENBAUWERK	88
8.2.	PLATTENTRAGWERK.....	91
9.	VERGLEICH VERSCHIEDENER LASTVERTEILUNGEN	94
9.1.	RAHMENBAUWERK	94
9.2.	PLATTENTRAGWERK.....	97
10.	ANWENDUNG DER ERGEBNISSE	99
11.	ZUSAMMENFASSUNG	101
12.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	102
13.	TABELLENVERZEICHNIS	104
14.	LITERATURVERZEICHNIS.....	106
15.	ANHANG A - ERGEBNISSE DER RAHMEN-TRAGWERKE..... SIEHE BEILIEGENDE CD	

- 16. **ANHANG B - ERGEBNISSE DER PLATTENTRAGWERKE SIEHE BEILIEGENDE CD**
- 17. **ANHANG C - LASTGRUPPEN DER RAHMENTRAGWERKE SIEHE BEILIEGENDE CD**
- 18. **ANHANG D - LASTGRUPPEN DER PLATTENTRAGWERKE SIEHE BEILIEGENDE CD**

1. EINLEITUNG

1.1. Allgemeines

Da seitens der ÖBB das Bestreben besteht, für „einfache“ eingleisige Eisenbahnbrücken vereinfachte Lastansätze zur Berechnung bzw. Bemessung der Brücken heranzuziehen, wurde die Idee zur Durchführung dieser Diplomarbeit gemeinsam mit dem Institut für Betonbau der TU – Wien geboren. Um bei der Berechnung der Schnittkräfte zufolge Verkehrslasten von einfachen Eisenbahnbrücken nicht die komplette ÖNORM EN 1991-2 bzw. B 1991-2 anwenden zu müssen, soll im Zuge dieser Diplomarbeit ein Vergleich der Ergebnisse der Schnittkraftberechnung von einfachen Rechenmodellen und einem vereinfachten Verkehrslastansatz mit wirklichkeitsnahen räumlichen Rechenmodellen unter Anwendung der gesamten Normlasten durchgeführt werden.

1.2. Aufgabenstellung

Für verschiedene Brückensysteme mit unterschiedlichen Stützweiten soll ein Vergleich der Schnittkräfte bei Anwendung unterschiedlicher Rechenmodelle mit unterschiedlichen Verkehrslastansätzen durchgeführt werden. Es handelt sich also bei dieser Arbeit um einen reinen Vergleich der Schnittkräfte.

Bei den verschiedenen Brückensystemen handelt es sich um Rahmenbrücken mit durchgehender Bodenplatte und um einfeldrige Plattenbrücken. Die unterschiedlichen Stützweiten bzw. Lichte Weiten variieren zwischen 2,0 m und 15,0 m. Bei den Rechenmodellen soll ein ebenes Stabsystem einem räumlichen Schalen- oder Plattensystem gegenüber gestellt werden. Die vereinfachten Verkehrslastansätze, mit denen die „vereinfachten“ ebenen Stabsysteme belastet werden, beschränken sich auf die im Eurocode angegebenen Vertikallastmodelle. Die „genauen“ normgemäßen Verkehrslastansätze, die das räumliche Rechenmodell belasten, berücksichtigen alle Aspekte des Eurocodes. Hier werden alle Vertikallastmodelle, sowie die anzusetzenden Exzentrizitäten, Gleislage, Seitenstoß, Fliehkräfte, Anfahren, Bremsen und Bildung der Lastgruppen berücksichtigt.

Um die unterschiedlichen Systeme vergleichbar zu machen, ist es notwendig bei der Berechnung Ergebnisse gleicher Art zu erhalten. Es wird deshalb für das Stabsystem ein in der Praxis übliches Rechensystem mit einem 1,0 m breiten Querschnitt verwendet.

Verglichen werden Querkräfte und Biegemomente. Für das Stabsystem ergeben sich also Einheiten der Schnittkräfte, die auf einen Meter bezogen sind, gleich wie die Einheiten der Schnittkräfte des Schalen- oder Plattensystems. Als Vergleichsschnittkraft des räumlichen Systems wird jene Schnittkraft herangezogen, die über Querschnittsbreite gesehen das Maximum bzw. Minimum ergibt. Bei den ÖBB ist es üblich die Bemessungsergebnisse des am meisten belasteten Querschnitts auf die gesamte Brückenbreite anzuwenden, was eine spätere Änderung der Gleislage ermöglicht.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, ist es auch notwendig bei beiden Systeme die gleichen Randbedingungen zu berücksichtigen.

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse soll den Unterschied zeigen, der einerseits einer Plattenberechnung mit allen Aspekten des Eurocodes und andererseits einer Stabwerksberechnung mit reduzierten Lastansätzen zugrunde liegt.

Es ist anzumerken, dass eine dynamische Untersuchung nicht Teil dieser Arbeit ist, da die Querschnitte der untersuchten Brücken so gewählt werden, dass die erste Eigenfrequenz der Brücke n_0 unter ständigen Lasten innerhalb der in der ÖNORM EN 1991-2 angegebenen Grenzen liegen. Weiters wird davon ausgegangen, dass die Geschwindigkeit mit 200 km/h beschränkt ist.

Weiters wird festgehalten, dass diese Arbeit nur für die definierten Brückentypen mit bestimmter Stützweite und Plattenstärke Gültigkeit besitzt.

1.3. Verwendete Software

Für die Berechnung wurde nachstehende Software verwendet:

RM 2006 – TDV Professional Engineering Software

RM 2006 ist ein von TDV (Graz) entwickeltes EDV Programm für die Bearbeitung von dreidimensionalen Stabtragwerken mit Schwerpunkt Brückenbau.

SCIA ESA PT

SCIA ESA PT ist ein EDV Programm für die Bearbeitung von dreidimensionalen Stab- und Flächentragwerken.

1.4. Übersicht der Normen

Folgende EN-Normen bzw. B-Normen sind hinsichtlich Lasten bei der Berechnung einer Eisenbahnbrücke zu berücksichtigen.

1.4.1. Normen für Einwirkungen

Normnummer und Datum	Titel
ÖNORM EN 1991-1-1 (2003-03-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
ÖNORM B 1991-1-1 (2006-01-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau – Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen
ÖNORM EN 1991-1-3 (2005-08-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelast
ÖNORM B 1991-1-3 (2006-04-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelast – Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen
ÖNORM EN 1991-1-4 (2005-11-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlast
ÖNORM B 1991-1-4 (2006-12-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlast - Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen
ÖNORM EN 1991-1-5 (2004-12-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen
ÖNORM B 1991-1-5 (2004-12-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen – Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-5 und nationale Ergänzungen
ÖNORM EN 1991-1-7 (2007-04-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen
ÖNORM B 1991-1-7 (2005-04-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen - Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-7
ÖNORM EN 1991-2 (2004-08-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken
ÖNORM B 1991-2 (2004-08-01)	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken - Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-2 und nationale Ergänzungen

1.4.2. Normen für Überlagerungen

Normnummer und Datum	Titel
ÖNORM EN 1990 (2003-03-01)	Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung
ÖNORM EN 1990/A1 (2006-09-01)	Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung – Anhang A2: Anwendung bei Brücken
ÖNORM B 1990-2 (2006-09-01)	Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung – Teil 2: Brückenbau – Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1990/A1:2004

2. SYSTEMANGABEN

2.1. Allgemeines

Es werden hier eine Reihe von Systemen untersucht und die Ergebnisse der Schnittkraftberechnung miteinander verglichen. Bei den Systemen handelt es sich um in der Praxis häufig geplante Rahmen- und einfeldrige Plattentragwerke. Bei den Modellen werden Randbedingungen berücksichtigt, die einerseits Praxisnahe gewählt wurden und andererseits das Tragverhalten des Tragwerks möglichst wenig beeinflussen.

2.2. Geschwindigkeiten, Radien und Überhöhungen

Für die untersuchten Systeme werden Geschwindigkeiten bis zu 200 km/h berücksichtigt. Gemäß RVE 06.00.01 (01.November 2005) wird der kleinste anzuwendende Radius $R_{\min}=300$ m (bei einer Überhöhung $\ddot{u}=160$ mm) berücksichtigt.

Der Zusammenhang zwischen Überhöhung, Radius und Geschwindigkeit gemäß ÖBB Trassierungsvorschriften B 50 ist wie folgt berücksichtigt:

$$\ddot{u} = \frac{11,8 \times V^2}{R} - \ddot{u}_f$$

gemäß Technische
Richtlinien für
Eisenbahnbrücken

wobei

$\ddot{u} =$	160 mm	Überhöhung [mm]
V		Geschwindigkeit [km/h]
R		Radius [m]
$\ddot{u}_f =$	100 mm	Überhöhungsfehlbetrag [mm]

2.3. Systeme im Längsschnitt

Es werden Rahmenbrücken und einfeldrige Plattenbrücken untersucht. Die Stützweiten der Einfeldplatten variieren zwischen 2,00 m und 15,00 m.

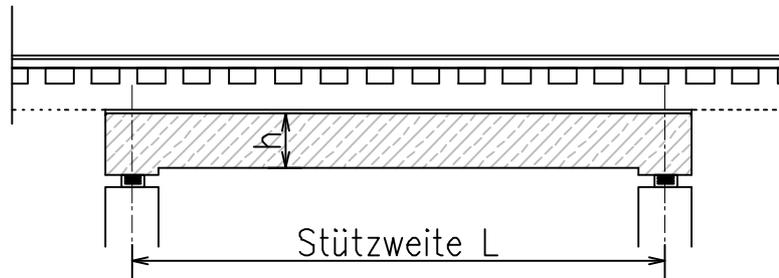


Abb. 1 einfeldriges Plattentragwerk

Stützweite L [m]	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Plattenstärke h [m]	0,3	0,45	0,6	0,8	1,0	1,2

Tab. 1 Stützweiten der Plattentragwerke

Bei den Rahmenbrücken werden lichte Weiten zwischen 3,00 m und 15,00 m mit verschiedenen zugehörigen lichten Höhen berücksichtigt.

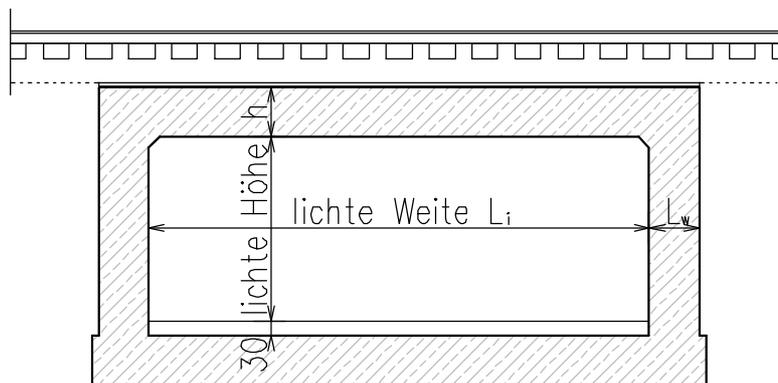


Abb. 2 Rahmentragwerk

lichte Weite L_i [m]	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
Plattenstärke h [m]	0,45	0,60	0,80	1,00	1,25
Wandstärke L_w [m]	0,45	0,60	0,80	1,00	1,20
lichte Höhe [m]	2,5	4,7	4,7	4,7	4,7

Tab. 2 Stützweiten der Rahmentragwerke

Der Belag im Rahmeninneren wird mit ca. 30 cm in der Berechnung berücksichtigt. Bei den Rahmen mit lichter Weite ab 6,00 m ist die lichte Rohbauhöhe 5,00 m, bei den Rahmen mit lichter Weite 3,00 m ist die lichte Rohbauhöhe 2,80 m.

2.4. Systeme im Querschnitt

Im Querschnitt werden eingleisige Eisenbahnbrücken mit einem Randbalken HL 2.1 (Nr. 12130) gemäß ÖBB Regelplanungen für die Berechnung herangezogen. Die Breite der HL 2.1 Randbalken beträgt 1,0 m.

Unter Berücksichtigung der Rand- und Achsabstände ergibt sich somit eine untere Grenze der Plattenbreite von 5,86 m für eingleisige Brücken.

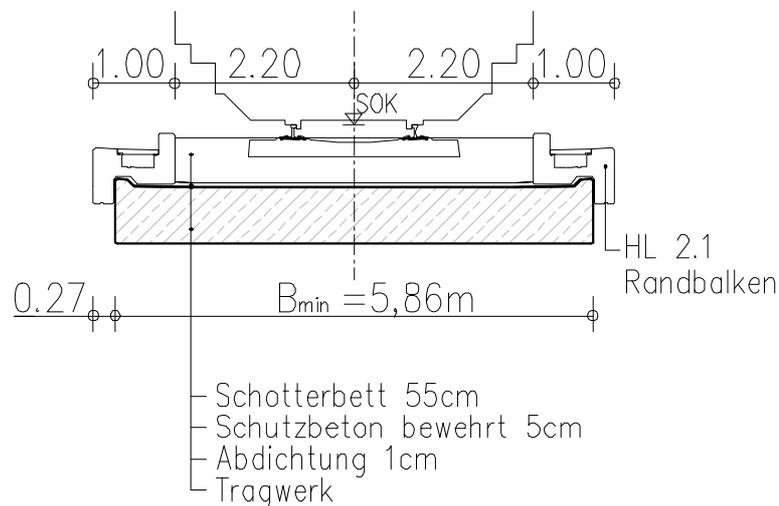


Abb. 3 1-gleisiger Querschnitt

2.5. Lagerung der Systeme

Bei den Plattentragwerken werden Linienlager im Rechenmodell berücksichtigt.

Die Bodenplatte der Rahmentragwerke wird, um die Vertikal- und Horizontallasten abtragen zu können, elastisch gebettet gelagert. Grundsätzlich soll ein geschlossener Rahmen weitgehend unabhängig von der Qualität des Baugrundes einsetzbar sein. Für die elastische Bettung der Bodenplatte wird eine untere Grenze der Berechnung zugrunde gelegt.

Vertikale Bettung: $c_z = 10.000 \text{ kN/m}^3$

Horizontale Bettung: $c_{x,y} = 5.000 \text{ kN/m}^3$

2.6. Verwendete Materialien

In der Arbeit werden ausschließlich Schnittkraftvergleiche und keine Tragwerksbemessung durchgeführt. Für die Berechnung werden Materialien folgender Eigenschaften verwendet:

gemäß ÖNORM EN 1992
bzw. ÖNORM B 1992

Beton: Festigkeitsklasse C30/37

$$a_{cc} \dots 0,90$$

$$f_{cd} = a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{g_c} \quad 18,0 \text{ N/mm}^2 \quad 1,80 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{ctm} = \quad 2,9 \text{ N/mm}^2 \quad 0,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{cm} = \quad 33000 \text{ N/mm}^2 \quad 3300 \text{ kN/cm}^2$$

Betonstahl: Betonstahlgüte Bst 550 B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{g_s} \quad 478 \text{ N/mm}^2 \quad 47,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_s = \quad 200000 \text{ N/mm}^2 \quad 20000 \text{ kN/cm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\text{Beton: } g_c \dots 1,50 \text{ (Grundkombination)}$$

$$g_c \dots 1,20 \text{ (Außergewöhnliche Kombination)}$$

$$\text{Betonstahl: } g_s \dots 1,15 \text{ (Grundkombination)}$$

$$g_s \dots 1,00 \text{ (Außergewöhnliche Kombination)}$$

2.7. Rechenmodelle und Modellierungen

2.7.1. vereinfachte ebene Rechenmodelle

Im Zuge der vereinfachten Berechnung wird ein ebenes Stabtragwerk als statisches System berücksichtigt. Es wird hierfür ein Querschnitt im Gleisbereich herangezogen der eine Breite von 1,0 m hat und die zur Stützweite bzw. lichten Weite zugehörige Höhe, die unter Pkt. 2.3. definiert wurde.

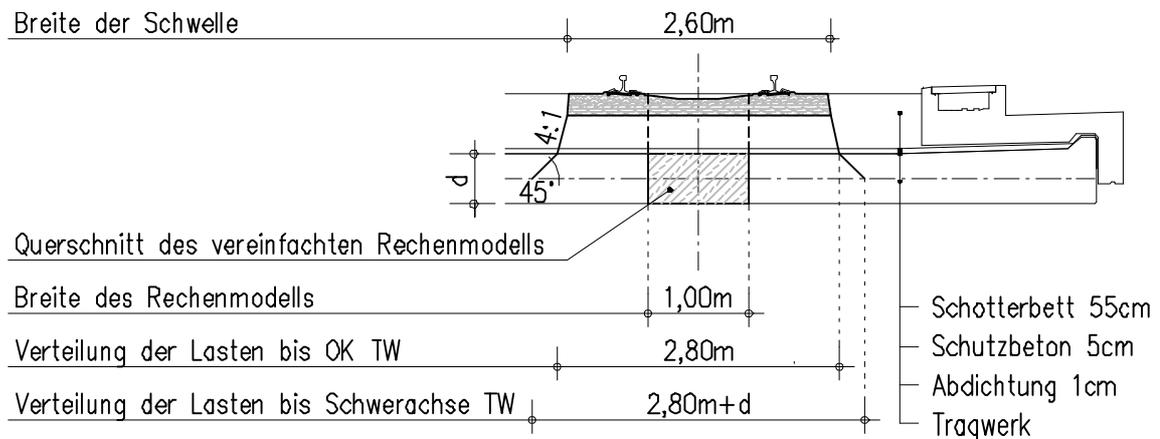


Abb. 4 Querschnitt des vereinfachten Rechenmodells

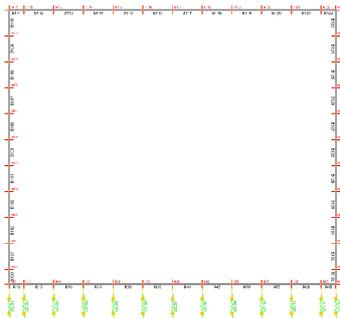


Abb. 5 ebenes Rahmenmodell

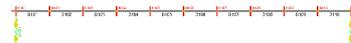


Abb. 6 ebenes Einfeldmodell

2.7.2. genaue räumliche Rechenmodelle

Im Zuge der genauen Berechnung wird ein räumliches Finite Elemente Schalen- bzw. Plattentragwerksmodell als statisches System verwendet. Es werden hierfür die tatsächlichen Tragwerksstärken bzw. Stärken der Wände und Bodenplatten modelliert.

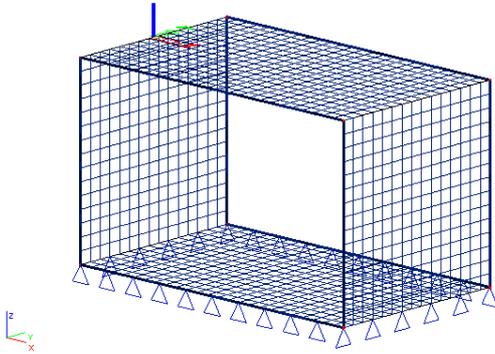


Abb. 7 räumliches Rahmenmodell

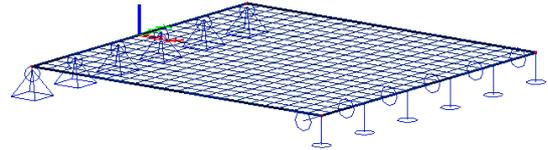


Abb. 8 räumliches Einfeldmodell

Die durchschnittliche Größe der Finiten Elemente wird so gewählt, dass die Seitenlänge des Elements etwa die halbe Dicke des Tragwerks beträgt.

Das Modell wird als Schalentragwerk modelliert, damit auch die Lasten in der Ebene berücksichtigt werden.

Für die Berechnung des Schalentragwerke wird die Theorie von Kirchhoff für dünne Platten angewandt. Die Theorie hat Gültigkeit für Schankheiten von $\frac{1}{50} < \frac{h}{L} < \frac{1}{10}$. Obwohl die Kirchhoff'sche Platte schubstarr ist und Schubverzerrungen vernachlässigt werden, sind die Ergebnisse besser als jene der Berechnung nach der Theorie von Mindlin, die zwar die Schubverzerrungen berücksichtigt, aber nur für dicke Platten Gültigkeit besitzt ($\frac{1}{10} < \frac{h}{L} < \frac{1}{5}$).

3. EINWIRKUNGEN

3.1. Ständige Einwirkung nach EN 1991-1-1

3.1.1. Eigengewicht der Konstruktion

gemäß ÖNORM EN
1991-1-1

Für Stahl- und Spannbeton wird eine Wichte von $g_c=25,0 \text{ kN/m}^3$ bzw. ÖNORM B 1991-1-1, angesetzt.

3.1.2. Ständige Auflasten

Abdichtung und Schutzbeton

Die Stärke der Abdichtung beträgt 1,0 cm, die des Schutzbetons 5,0 cm. Die Wichte der Abdichtung ist mit $g_a=24,0 \text{ kN/m}^3$ anzusetzen, die des Schutzbetons mit $g_c=25,0 \text{ kN/m}^3$.

Randbalken

Für den Stahlbeton der Randbalken ist ebenfalls eine Wichte von $g_c=25,0 \text{ kN/m}^3$ anzusetzen.

Schotterbett

gemäß ÖNORM EN
1991-1-1, 5.2.3(2)
bzw. ÖNORM B 1991-1-1,

Für Stoffe, die sich während der Nutzung verdichten können oder sonst ihre Eigenschaften ändern, wird ein oberer oder ein unterer charakteristischer Wert für die Wichte berücksichtigt. Die Nennhöhe (Regeldicke) des Schotterbettes beträgt 55 cm. Die oberen und unteren charakteristischen Werte der Schotterbetthöhe werden anhand einer Abweichung von $\pm 30\%$ der Nennhöhe bestimmt. Für das Schotterbett ist eine Wichte von $g_s=20,0 \text{ kN/m}^3$ anzusetzen.

Gleis und Schwelle

gemäß ÖNORM EN
13674-1,
bzw. ÖNORM B 1991-2,
5.2.2.3.1

Die Schienenform und der Schwellentyp sind in Abhängigkeit von der Streckenbelastung zu wählen. Bei der Berechnung wird eine 60 E1 Schiene berücksichtigt. Die Belastung aus dem Gleis beträgt 1,7 kN/m.

Im Regelfall sind Betonschwellen mit den Abmessungen $L/B/H = 260/26/21$ anzunehmen. Der Schwellenabstand beträgt 60 cm.

Erddruck bei Rahmentragwerken

Hinsichtlich der Berechnung von Erddrücken und Erdwiderständen ist die ÖNORM B 4434 anzuwenden. Für den Boden bzw. für das Hinterfüllmaterial wird eine Wichte von $\gamma=21 \text{ kN/m}^3$ angenommen.

gemäß ÖNORM EN
1997-1,
bzw. ÖNORM B
1997-1-1

Mit $\alpha=\beta=0^\circ$ und $\delta_a=0^\circ$ ergibt sich der aktive Erddruckbeiwert K_{ah} zu

$$K_{ah} = \left(\frac{\cos j}{1 + \sin j} \right)^2. \text{ Der Erddruckbeiwert } K_{ah} \text{ wird mit } 0,3 \text{ berücksichtigt.}$$

Der Erdruhedruckbeiwert K_0 errechnet sich aus

$$K_0 = 1 - \sin j. \text{ Der Erdruhedruckbeiwert wird mit } 0,5 \text{ berücksichtigt.}$$

Für die Bemessung des Rahmes ist der Erdruhedruck anzusetzen, in günstigen Fällen wird dieser jedoch bis zum aktiven Erddruck reduziert. Es ergeben sich also folgende Möglichkeiten der Wirkung des Erddrucks:

- A... aktiver Erddruck (K_{ah}) beidseits als ständig wirkend
- B... Differenz zum Erdruhedruck ($K_0 - K_{ah}$) ebenfalls beidseits, nur im ungünstigem Fall

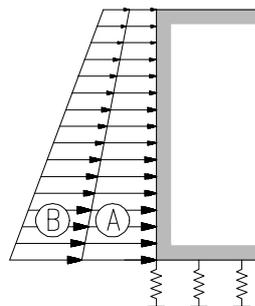


Abb. 9 Wirkung des Erddruckes

Lärmschutzwand

Entsprechend der Lärmschutzelemente und unter Berücksichtigung des Betonsockelbrettes bzw. der Lärmschutzwandsteher (der Reihe HE-160) wird ein Gewicht der Lärmschutzwand von 15 bis 40 kg/m² als Linienlast am Randbalken berücksichtigt. Es wird eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 2,0 m über SOK berücksichtigt.

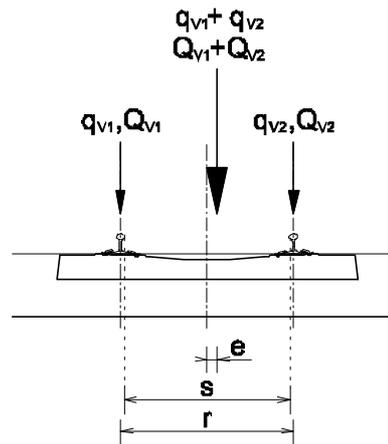


Abb. 14 Exzentrizität der Radlasten

Lastverteilung (Längsverteilung durch Schwelle und Schotter)

Für die Bemessung von Einzelbauteilen ist die Verteilung der Lasten unter der Schwelle mit einem Verhältnis von 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene zu berücksichtigen.

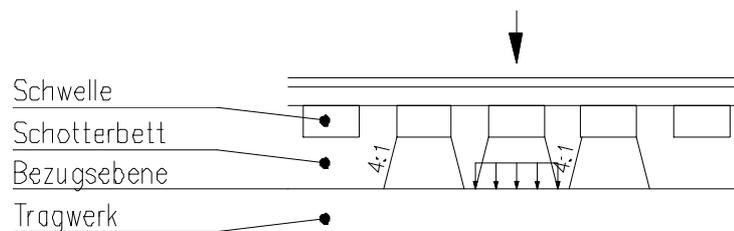


Abb. 15 Verteilung der Lasten

Einzellasten und Gleichlasten des Lastmodells 71, die entlastend wirken, sind zu vernachlässigen. Die Lasten werden entsprechend der Einflusslinien für die Schnittkräfte an bestimmten Stellen berücksichtigt.

gemäß ÖNORM EN 1991-2, 6.8.1 (3); bzw. ÖNORM B 1991-2,

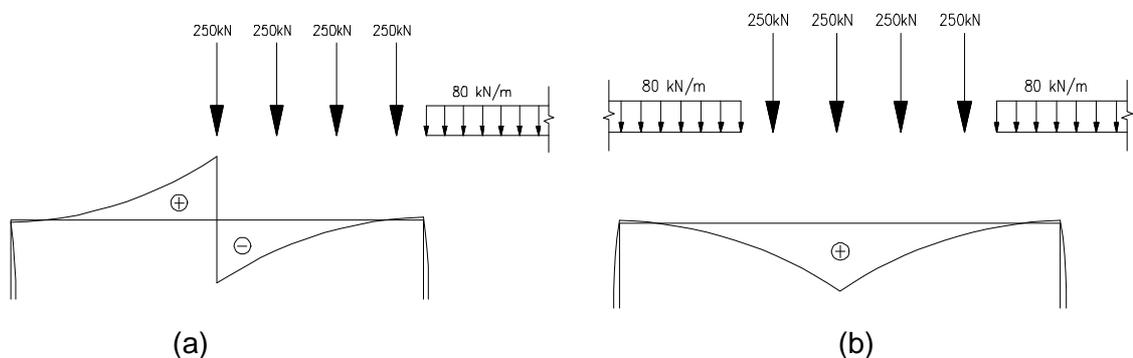


Abb. 16 Beispiele für die Aufstellung des Lastmodells 71 entsprechend der Einflusslinien: (a) Einflusslinie für die Querkraft in Feldmitte, (b) Einflusslinie für Biegemoment in Feldmitte

Lastmodell SW/0

für Regelverkehr auf Hauptstrecke

Durchlaufträgerbrücke, die für das Lastmodell 71 bemessen werden, sind zusätzlich für das Lastmodell SW/0 zu berechnen. Für die hier untersuchten Systeme ist dieses Lastmodell nur für die Rahmenbauwerke relevant.

gemäß ÖNORM EN
1991-2, 6.3.3
bzw. ÖNORM B 1991-2,

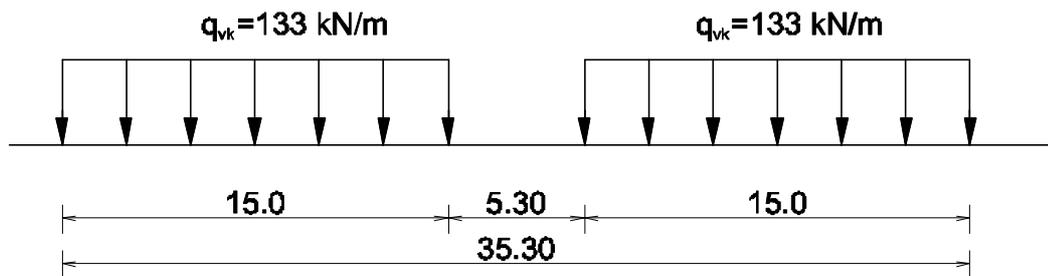


Abb. 17 Lastmodell SW/0

Die Lasten des Lastmodells SW/0 werden mit $a=1,21$ klassifiziert.

Lastmodell SW/2

wird bei Brücken eines Streckenabschnittes mit Schwerverkehr berücksichtigt. Das Lastmodell SW/2 stellt den statischen Anteil der Verkehrslast des Schwerverkehrs dar.

gemäß ÖNORM EN
1991-2, 6.3.3
bzw. ÖNORM B 1991-2,

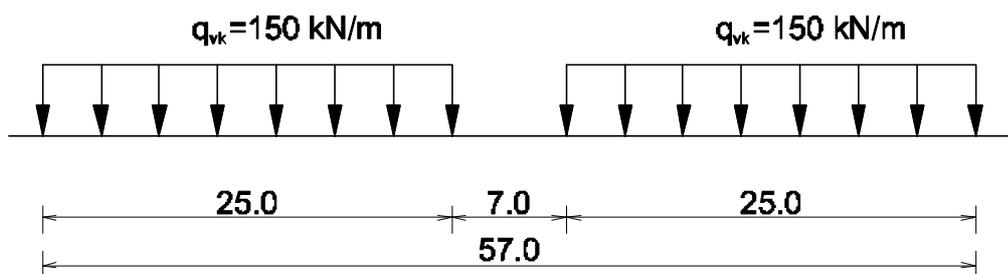


Abb. 18 Lastmodell SW/2

Die angegebenen Lasten werden nicht mit dem Lastklassenbeiwert a multipliziert.

Lastmodell HSLM (High Speed Load Model)

Die HSLM Lastmodelle sind nur für einen Reisezugverkehr mit Geschwindigkeiten über 200 km/h zu berücksichtigen. Diese Lastmodelle sind deshalb für die untersuchten Systeme nicht relevant.

gemäß ÖNORM EN
1991-2, 6.4.6
bzw. ÖNORM B 1991-2,

Lastmodell „unbelasteter Zug“

für die Auswirkungen eines unbelasteten Zugs.

gemäß ÖNORM EN
1991-2, 6.3.4

Es handelt sich hierbei um eine gleichmäßig verteilte Streckenlast mit einem charakteristischen Wert von $q_{vk}=10$ kN/m.

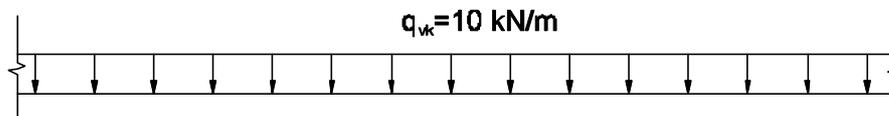


Abb. 19 „unbelasteter Zug“

Einwirkung für Dienstwege

Die Lasten von Fußgänger- und Radverkehr sind mit $q_{fk}=5$ kN/m² zu berücksichtigen.

gemäß ÖNORM EN
1991-2, 6.3.7

Für örtliche Bemessungen kann eine Einzellast von $Q_{fk}=2$ kN angesetzt werden.

Dynamische Einwirkungen

Die Durchführung einer Dynamischen Berechnung ist nicht Teil dieser Arbeit. Es werden nur Brücken berücksichtigt, die mit einer örtlich zulässigen Geschwindigkeit v_{max} von 200 km/h befahren werden. Weiters wurden die Tragwerke so gewählt, dass die erste Eigenfrequenz n_0 innerhalb der Grenzwerte laut ÖNORM EN 1991-2 liegt.

Dynamischer Beiwert

Der dynamische Beiwert berücksichtigt die dynamische Vergrößerung von Beanspruchungen und Schwingungen im Tragwerk.

Der dynamische Beiwert F , der die Einwirkungen der statischen Last aus den Lastmodellen 71, SW/0 und SW/2 erhöht, ist mit F_2 oder F_3 anzusetzen. Für Projekte der ÖBB ist, falls kein dynamischer Beiwert festgelegt ist, F_2 anzuwenden, F_2 ist für sorgfältig instand gehaltene Gleise.

$$f_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_f} - 0,2} + 0,82 \quad \text{mit } 1,0 \leq f_2 \leq 1,67$$

L_F ist bei den Plattentragwerken mit der Stützweite zu berücksichtigen. Bei den Rahmentragwerken wird L_F wie bei einem durchlaufenden Träger mit drei Feldern wie folgt berücksichtigt:

$$L_f = k \times L_m$$

wobei $L_m = \frac{1}{n} \times (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$ ist (n ist die Anzahl der Felder). k ist abhängig von der Anzahl der Felder und ist für n=3 mit 1,3 zu berücksichtigen.

3.2.2. Horizontallasten

Fliehkräfte

Bei Brücken, die ganz oder nur teilweise in einer Gleiskrümmung liegen, sind die **Zentrifugallasten** (Fliehkräfte) und die **Überhöhung** zu berücksichtigen.

Die Fliehkraft ist 1,80 m über Schienenoberkante horizontal nach außen wirkend anzusetzen. Die Fliehkraft ist im Gegensatz zu der zu kombinierenden Vertikalbelastung nicht mit dem dynamischen Beiwert F_2 zu multiplizieren.

Der charakteristische Wert der Fliehkraft ist für Achslasten

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r} (f \times Q_{vk}) = \frac{V^2}{127r} (f \times Q_{vk})$$

und für Streckenlasten

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r} (f \times q_{vk}) = \frac{V^2}{127r} (f \times q_{vk}).$$

Q_{tk}, q_{tk} charakteristische Werte der Fliehkraft [kN, kN/m]

Q_{vk}, q_{vk} die charakteristischen Werte der angegebenen Vertikallast der Lastmodelle 71, SW/0, SW/2 oder „unbelasteter Zug“

f Abminderungsbeiwert (für SW/2 und „unbelasteter Zug“ ist $f=1$)

v Höchstgeschwindigkeit [m/s]

V Höchstgeschwindigkeit [km/h]

gemäß ÖNORM EN 1991-2, 6.5.1

bzw. ÖNORM B 1991-2,

Überhöhung laut ZOV7

bzw. RVE 06.00.01

g	Erdbeschleunigung [9,81 m/s ²]
r	Radius des Gleisbogens [m]

Zusätzlich ist eine Belastung mit LM 71 oder SW/2 ohne Fliehkräfte anzusetzen.

Bei Ansatz des Lastmodell 71 und örtlichen Entwurfsgeschwindigkeiten von mehr als 120 km/h sind zwei Fälle zu berücksichtigen:

- Vertikalanteil des Lastmodells 71 mit dynamischem Beiwert F und $a=1,21$ und die Fliehkraft für $V=120$ km/h mit $f=1$ und $a=1,21$.
- Vertikalanteil des Lastmodells 71 mit dynamischem Beiwert F und $a=1,0$ und die Fliehkraft für die maximale Entwurfsgeschwindigkeit V , $a=1,0$ und einem Abminderungsbeiwert f wie folgt:

$$f = \left[1 - \frac{V - 120}{1000} \left(\frac{814}{V} + 1,75 \right) \left(1 - \sqrt{\frac{2,88}{L_f}} \right) \right]$$

mit einem Mindestwert von 0,35, für $V > 120$ km/h und $L_f > 2,88$ m.

L_f Einflusslänge des belasteten Teiles des Gleisbogens auf der Brücke, die am ungünstigsten für die Bemessung des jeweils betrachteten Bauteils ist [m]

V Höchstgeschwindigkeit [km/h]

$f = 1$ sowohl für $V \leq 120$ km/h als auch für $L_f \leq 2,88$ m

$f < 1$ für 120 km/h $\leq V \leq 300$ km/h

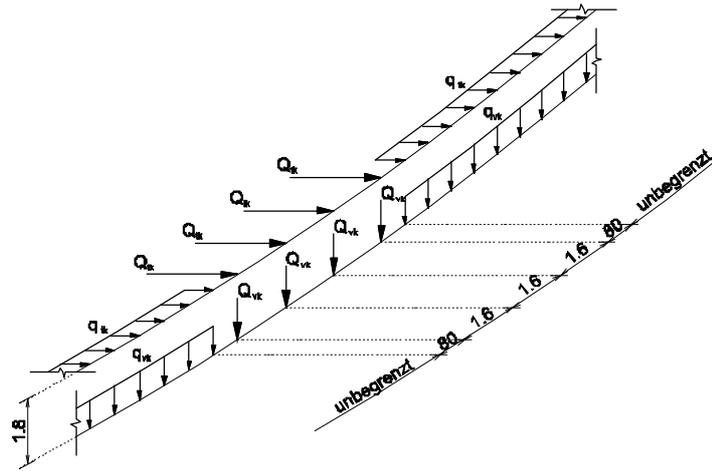


Abb. 20 Fliehkräfte infolge LM 71

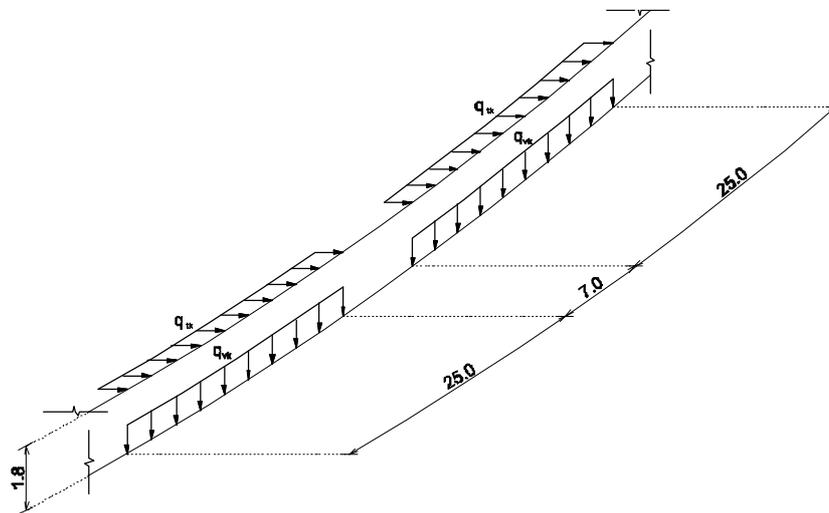


Abb. 21 Fliehkräfte infolge SW/2, mit $f=1$; $V=80$ km/h, F für zugehörige Vertikallast

Seitenstoß (Schlingerkraft)

gemäß ÖNORM EN
1991-2, 6.5.2

Der charakteristische Wert des Seitenstoßes ($Q_{sk}=100$ kN) ist in Schienenoberkante rechtwinkelig zur Gleisachse anzusetzen. Bei Auftreten des Seitenstoßes in Kombination mit dem Lastmodell 71 ist dieser mit $a=1,21$ zu multiplizieren.

Der Seitenstoß ist immer mit einer vertikalen Verkehrslast zu kombinieren. Er ist sowohl bei geraden als auch bei gekrümmten Gleisen anzusetzen und ist nicht mit dem dynamischen Beiwert F und dem Beiwert f zu multiplizieren.

Der Seitenstoß ist nicht an die vertikale Einzellast gebunden, er kann an jeder beliebigen Stelle auftreten.

Anfahren und Bremsen

gemäß ÖNORM EN
1991-2, 6.5.3

Bremsen und Anfahren ist ein in Längsrichtung der Schiene wirkende Horizontalkraft in der Schienenoberkante. Sie sind als gleichmäßig verteilt über die Einfluslänge L_f der Einwirkung für das jeweilige Bauteil anzunehmen. Sie sind jeweils mit der zugehörigen Vertikallast zu kombinieren.

Charakteristische Anfahrkraft für LM 71 und SW/2:

$$Q_{lak} = 33 \times L_{a,b} [m] \leq 1000 [kN]$$

Charakteristische Bremskraft für LM 71, SW/0 und HSLM:

$$Q_{lbk} = 20 \times L_{a,b} [m] \leq 6000 [kN]$$

Charakteristische Bremskraft für SW/2:

$$Q_{lbk} = 35 \times L_{a,b} [m]$$

Die Werte sind nicht mit dem dynamischen Beiwert F zu multiplizieren.

Die Anfahr- und Bremskräfte sind für die Lastmodelle 71 und SW/0 mit $a=1,21$ zu klassifizieren.

Das ergibt eine klassifizierte Anfahrlast von $Q_{lak} \times 1,21 \leq 1210 [kN]$ für LM 71 und SW/0, bzw. eine klassifizierte Bremskraft von $Q_{lbk} \times 1,21 \leq 7260 [kN]$ für LM 71 und SW/0.

Bei zwei- oder mehrgleisigen Brücken ist Bremsen auf einem Gleis mit Anfahren am anderen Gleis zu überlagern. Falls mehrere Gleise die gleiche erlaubte Fahrtrichtung besitzen ist entweder Anfahren mit Anfahren oder Bremsen mit Bremsen zu überlagern (Gleiswechselbetrieb).

3.2.3. Außergewöhnliche Einwirkungen

Entgleisen und andere Einwirkungen für Eisenbahnbrücken

gemäß ÖNORM EN
1991-2, 6.7

Die Brückenbauwerke sind so zu bemessen, dass in einem Entgleisungsfall der Schaden der Brücke auf ein Minimum begrenzt ist.

Die Einwirkung aus Entgleisung ist als außergewöhnliche Bemessungssituation zu betrachten. Es sind zwei Bemessungssituationen zu betrachten.

Bemessungssituation I ist für Nachweise der Tragsicherheit zu berücksichtigen. Es ist ein Einsturz der Brücke zu vermeiden, Beschädigungen werden jedoch hingenommen.

$a \times 1,4 \times LM71$ ist für die Einzellasten sowie für die Streckenlast aus LM 71 parallel zum Gleis in der ungünstigsten Stellung innerhalb eines Bereichs mit einer Breite der 1,5 fachen Spurweite beidseits der Gleisachse zu berücksichtigen.

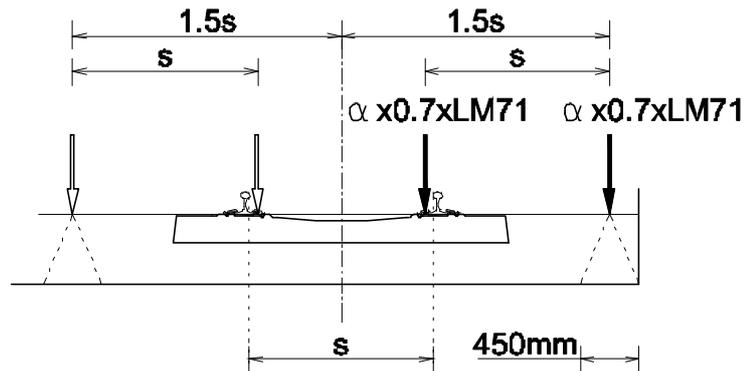


Abb. 22 Bemessungssituation I – Ersatzlast q_{A1d}

In der Bemessungssituation II sollte das Tragwerk weder einstürzen noch umkippen. Es ist auf eine Länge von 20 m eine gleichmäßig verteilte Vertikallast von $q_{A2d} = a \times 1,4 \times LM71$ zu betrachten, die an den seitlichen Grenzen des Fahrbahnbereichs angreift.

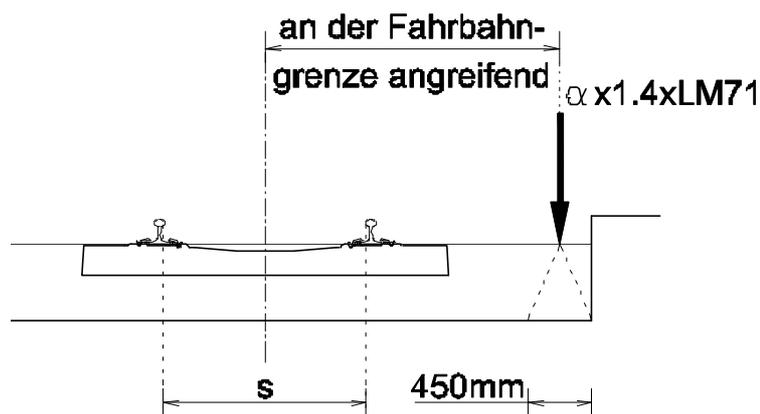


Abb. 23 Bemessungssituation II – Ersatzlast q_{A2d}

Bemessungssituation I und II sind getrennt zu untersuchen. Auf die Bemessungslasten braucht kein dynamischer Beiwert F angesetzt werden.

3.2.4. Allgemeines zu den Verkehrslasten aus Zugverkehr

Lage der Gleise

Die Lage der Gleise ist vom Infrastrukturbetreiber bekannt zu geben. Von dieser Gleislage ist, falls keine anderen Angaben gemacht werden eine Abweichung von 0,10 m nach jeder Seite zu berücksichtigen.

gemäß ÖNORM B 1991-2, 4.2.7

Verkehrslastgruppen

Alle Nachweise sind mit Lastgruppen zu führen. Für eine eingleisige Strecke sind die Lastgruppen gr11 bis gr17 zu berücksichtigen.

gemäß ÖNORM EN 1991-2, 6.8
bzw. ÖNORM B 1991-2, 4.2.7
bzw. ÖNORM EN 1990/A1, A.2.2.4

Lastgruppe	Vertikallasten			Horizontallasten			Bemerkung
	LM71	SW/2	unbel. Zug	Anf. und Bremsen	Flieh- kraft	Seiten- stoß	
gr 11	1,0			1,0	0,5	0,5	Max. Vertikal 1 mit max. längs
gr 12	1,0			0,5	1,0	1,0	Max. Vertikal 2 mit max. quer
gr 13	1,0			1,0	0,5	0,5	max. längs
gr 14	1,0			0,5	1,0	1,0	Max. quer
gr 15			1,0		1,0	1,0	Seitenstabilität mit "unbeladenen Zug"
gr 16		1,0		1,0	0,5	0,5	SW/2 mit max. längs
gr 17		1,0		0,5	1,0	1,0	SW/2 mit max. quer

Tab. 3 Lastfallgruppen

Die grauen Felder sind jene der dominierenden Anteile der Einwirkung.

Alle Horizontallasten, mit Ausnahmen der dominierenden, können im günstigen Fall auf Null gesetzt werden.

Laut ÖNorm EN 1991-2 können in den Lastgruppen gr 13 und gr 14 die Vertikallasten in günstigen Fall auf 0,5 gesetzt werden. Da es sich in diesem Fall aber um Lastzustände handelt, die in Feldmitte die größten positiven Biegemomente und im Rahmeneck die größten negativen Biegemomente hervorrufen, also jene Lastzustände die ungünstig wirken, ist diese Verringerung der Vertikallast nicht notwendig.

3.2.5. Temperatureinwirkungen

gemäß ÖNORM EN 1991-1-5
bzw. ÖNORM B 1991-1-5

Temperatureinwirkungen sind als veränderliche und indirekte Einwirkungen zu klassifizieren.

Für die Temperatureinwirkung wird ein Anteil aus konstanter Temperaturänderung und ein Anteil aus veränderlicher Temperaturänderung berücksichtigt.

Die Temperatureinwirkungen sind abhängig von der Art des Brückenüberbaues.

Konstanter Temperaturanteil:

Die maximale Außentemperatur T_{\max} errechnet sich gemäß ÖNORM B 1991-1-5 mit folgender Formel: $T_{\max} = 38,8 (C^{\circ}) - 0,0059 (C^{\circ}/m) \times h (m)$, wobei h die Seehöhe ist.

Wird als untere Grenze eine Seehöhe von 200 m ü.A. angenommen, so ergibt sich für die maximale Außentemperatur ein Wert von 37,6°C.

Die minimale Außentemperatur T_{\min} ist gemäß Nationaler Festlegung der ÖNORM EN 1991-1-5 mit $T_{\min} = -32^{\circ}\text{C}$ im ungünstigsten Fall angegeben.

Aus diesen Temperaturen ergibt sich für eine Betonkonstruktion (Typ 3) die minimale und maximale Temperatur der Brücke wie folgt:

$$T_{e,\max} = 38^{\circ}\text{C}$$

gemäß ÖNORM EN 1991-1-5;
6.1.3; Bild 6.1

$$T_{e,\min} = -25^{\circ}\text{C}$$

Die Aufstelltemperatur T_0 beträgt 10°C.

gemäß ÖNORM EN 1991-1-5;
A.1(3), bzw.
ÖNORM B 1991-1-5

Daher ergibt sich für den charakteristischen Wert der maximalen Verkürzung infolge konstanter Temperaturänderung der Brücke $\Delta T_{N,\text{con}}$ folgender Wert:

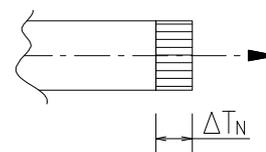
$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\min} = 10 - (-25) = 35^{\circ}\text{C}.$$

Für die maximale Ausdehnung ergibt sich der charakteristische Wert infolge konstanter Temperaturänderung der Brücke $\Delta T_{N,\text{exp}}$ wie folgt:

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = 38 - 10 = 28^{\circ}\text{C}.$$

Die gesamte Temperaturschwankung des konstanten Temperaturanteils der Brücke ist

$$\Delta T_N = T_{e,\max} - T_{e,\min} = 38 - (-25) = 63^{\circ}\text{C}.$$



Veränderlicher Temperaturanteil:

Die Beanspruchung aus vertikalen Temperaturunterschieden wird berücksichtigt, indem ein linear veränderlicher Temperaturanteil mit $\Delta T_{M,heat}$ und $\Delta T_{M,cool}$ berücksichtigt wird. Diese Werte werden zwischen Ober- und Unterseite des Brückenüberbaus angewendet.

Bei Erwärmung der Oberseite wird der linear veränderliche Temperaturanteil $\Delta T_{M,heat}$ für einen Belag mit der Dicke von 50 mm mit 10°C angenommen.

Bei Abkühlung der Oberseite wird der linear veränderliche Temperaturanteil $\Delta T_{M,cool}$ für einen Belag mit der Dicke von 50 mm mit 5°C angenommen.

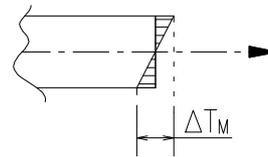
Für andere Belagsdicken wird der Wert mit dem Faktor k_{sur} multipliziert. Bei vorhandenem Schotterbett betragen die Werte von k_{sur} :

$$k_{sur} = 0,6 \quad (\text{für } \Delta T_{M,heat} \text{ und für Betonkonstruktion Typ3})$$

$$k_{sur} = 1,0 \quad (\text{für } \Delta T_{M,cool} \text{ und für Betonkonstruktion Typ3})$$

Somit ergeben sich für die charakteristischen Werte der linear veränderlichen Temperaturanteile folgende Werte: $\Delta T_{M,heat} = 6^\circ\text{C}$

$$\Delta T_{M,cool} = 5^\circ\text{C}.$$

**Gleichzeitige Berücksichtigung von konstanten und veränderlichen Temperaturanteil:**

Folgende Lastkombinationen werden berücksichtigt:

$$\Delta T_{M,heat} \text{ (or } \Delta T_{M,cool}) + w_N \times \Delta T_{N,exp} \text{ (or } \Delta T_{N,con})$$

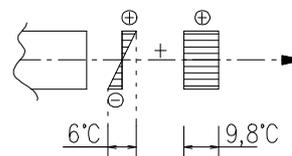
$$w_M \times \Delta T_{M,heat} \text{ (or } \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{N,exp} \text{ (or } \Delta T_{N,con}).$$

Wobei $w_M = 0,75$ und $w_N = 0,35$ ist.

Wobei der Ausdruck mit der ungünstigsten Auswirkung berücksichtigt wird. Es ergeben sich somit vier Möglichkeiten der Temperatureinwirkung:

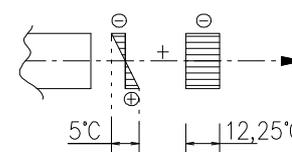
- Erwärmung der Oberseite:

$$6^\circ\text{C} + 0,35 \times 28^\circ\text{C} = 6^\circ\text{C} + 9,8^\circ\text{C}$$



- Abkühlung der Oberseite:

$$5^\circ\text{C} + 0,35 \times 35^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C} + 12,25^\circ\text{C}$$



- Erwärmung der Oberseite:
 $0,75 \times 6^\circ\text{C} + 28^\circ\text{C} = 4,5^\circ\text{C} + 28^\circ\text{C}$
- Abkühlung der Oberseite:
 $0,75 \times 5^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C} = 3,75^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C}$

Konstanter Temperaturunterschied zwischen verschiedenen Bauteilen:

Bei Rahmentragwerken ist ein konstanter Temperaturunterschied zwischen den verschiedenen Bauteilen (Decken, Wände und Bodenplatte) dann zu berücksichtigen, wenn dies zu ungünstigen Beanspruchungen führt. Es wird ein Temperaturunterschied von 15°C berücksichtigt.

3.2.6. Windeinwirkungen

gemäß ÖNORM EN 1991-1-4
bzw. ÖNORM B 1991-1-4

Die Windbelastung w in $[\text{kN}/\text{m}^2]$ wird wie folgt berücksichtigt:

$$w = q_b \times c,$$

wobei c das Produkt aus $c_{e(z)}$, c_{fx} , $c_{p,net}$ ist und q_b der Basiswindgeschwindigkeitsdruck.

q_b Basiswindgeschwindigkeitsdruck $[\text{N}/\text{m}^2]$

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2$$

ρ Dichte der Luft ($=1,25 \text{ kg}/\text{m}^3$)

v_b Basiswindgeschwindigkeit $[\text{m}/\text{s}]$

$$v_b = v_{b,0} \times c_{dir} \times c_{season}$$

c_{dir} Richtfaktor ($=1,0$)

c_{season} Jahreszeitenbeiwert ($=1,0$)

$v_{b,0}$ ist der Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit und ist in der ÖNORM B 1991-1-4 ortsabhängig angegeben. Der Maximalwert in Österreich ist in Traun und beträgt $28,3 \text{ m}/\text{s}$. Dieser Wert wird in der Berechnung berücksichtigt.

Da der Richtfaktor und der Jahreszeitenfaktor gleich $1,0$ sind und somit $q_b = q_{b,0}$ ist kann gleich der Grundwert des Basiswindgeschwindigkeitsdruck $q_{b,0}$ aus der ÖNORM B 1991-1-4 entnommen werden. Der Maximalwert in Traun beträgt $0,5 \text{ kN}/\text{m}^2$.

c_{e(z)} Geländefaktor

$$c_{e(z)} = \frac{q_{p(z)}}{q_b}$$

q_{p(z)} Böengeschwindigkeitsdruck

In der ÖNORM B 1991-1-4 errechnet sich der Term für Geländeform II mit

$$\frac{q_{p(z)}}{q_b} = 2,1 \times \left(\frac{z}{10} \right)^{0,24} . \text{ Geländeform II bezeichnet Gebiete mit geringer Vegetation}$$

wie Gras und einzelne Hindernisse mit Abständen von mindestens 20-facher Hindernishöhe. z [m] ist der Abstand zwischen dem tiefsten Punkt des Geländes und der Mitte des Verkehrsbandes. Wird eine Höhe z wie folgt angenommen:

max. Tragwerksstärke	1,25 m
Aufbau bis SOK: Abdichtung	0,01 m
Schutzbeton	0,05 m
Schotterbett	0,55 m
Schienenhöhe	0,172 m → 0,782 m
Verkehrsbandhöhe über SOK	4,00 m
max. Konstruktionshöhe	6,03 m
→ halbe Höhe	3,02 m
max. lichte Durchfahrtshöhe	4,00 m
z	7,02 m

Im ungünstigstem Fall ist für die untersuchten Objekte c_{e(z)} = 1,93.

c_{p,net} Druckbeiwert für freistehende Wände, ist abhängig von dem Völligkeitsgrad φ (für Lärmschutzwände =1) der Wand und dem Verhältnis der Länge der Lärmschutzwand zu deren Höhe bzw. in welchen Bereich (Anfangsbereich A von 0h bis 3h, Bereich B von 0,3h bis 2h, Bereich C von 2h bis 4h oder Bereich D größer 4h, wobei h ist die Höhe der Lärmschutzwand) der Wand die Windbelastung zu bestimmen ist. Wird angenommen, dass sich die Brücke nicht am Anfang der Lärmschutzwand befindet sondern in einem Abstand von größer 4h vom Anfang der Lärmschutzwand, so ist c_{p,net} = 1,2.

$c_{f,x}$ Kraftbeiwert

Der Kraftbeiwert ist abhängig vom Verhältnis b/d_{tot} , wobei b die Gesamtbreite der Brücke ist und d_{tot} die Gesamthöhe der Brücke samt Lärmschutzwand und/oder Verkehrsband ist. Für übliche Brücken kann $c_{f,x} = 1,3$ angenommen werden.

Es ergibt sich somit eine Windbelastung im ungünstigstem Fall zu

$$w = 0,5 \times 1,93 \times 1,2 \times 1,3 = 1,5 \text{ kN} / \text{m}^2 .$$

3.2.7. Verkehrserddruck bei Rahmentragwerken

Die Einwirkung aus Erddruck infolge Verkehr wird auf einer Breite von 3,0 m und 70 cm unter Schieneoberkante entweder einseitig oder beidseitig auf die Rahmenstiele berücksichtigt. Die Berechnung des Verkehrserddrucks liegt dem Erdruehdruckbeiwert zugrunde.

Der Verkehrserddruck infolge des Lastmodells 71 errechnet sich für die Gleichlast (80 kN/m) wie folgt:

$$e_{ph,LM71} = \frac{80}{3,0} \times K_{0,h} = \frac{80}{3,0} \times 0,5 = 13,33 \text{ kN} / \text{m}^2 .$$

Der Verkehrserddruck infolge des Lastmodells SW/2 errechnet sich für die Steckenlast (150 kN/m) wie folgt:

$$e_{ph,SW2} = \frac{150}{3,0} \times K_{0,h} = \frac{150}{3,0} \times 0,5 = 25 \text{ kN} / \text{m}^2 .$$

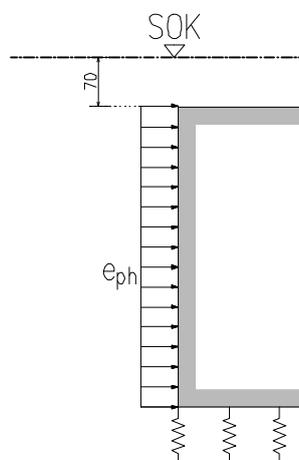


Abb. 24 Wirkung des Verkehrserddrucks (ein- oder beidseitig)

3.3. Lasteingabe für ebene vereinfachte Berechnung

Die Ergebnisse dieser vereinfachten Berechnung dienen als Vergleichswerte für die genaue Berechnung. Um einen Vergleich der „vereinfachten“ Berechnung mit der „genauen“ FEM Berechnung möglich zu machen, müssen die Randbedingungen gleich sein. Zu diesen Randbedingungen zählen die Bauwerksabmessungen, die Baugrundkennwerte und die Materialkennwerte.

3.3.1. Ständige Lasten

Die in der Lastaufstellung angeführten ständigen Lastanteile (Eigengewicht, Schutzbeton und Abdichtung, Schotterbett, Erddruck u.d.g.) werden auf das 1 m breite Stabtragwerk aufgebracht.

Gleis (1,7 kN/m)

Die Verteilung der Gleislast in Querrichtung erfolgt über die Schwellen und über das Schotterbett im Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerkes. Erfolgt eine weitere Verteilung der Lasten bis in die Schwerachse des Tragwerkes, so erfolgt dies unter einer Ausbreitung von 45°. Die Last des Gleises wird durch die Verteilbreite dividiert und auf das 1 m breite Stabtragwerk aufgebracht.

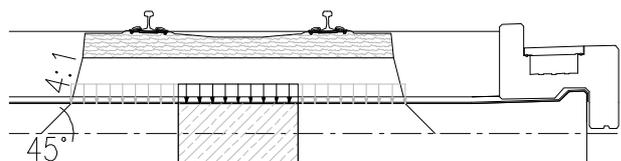


Abb. 25 Gleislast auf Querschnitt

3.3.2. Verkehrslasten

Bei der vereinfachten Berechnung wird ein Stabwerksmodell mit den Vertikalanteilen der Verkehrslastmodelle (LM 71, SW/0, SW/2 und „unbelasteter Zug“) belastet. Auf die Bildung der Lastgruppen wird in der vereinfachten Berechnung keine Rücksicht genommen.

Dynamische Faktoren:

Der dynamische Beiwert F wird bei allen erforderlichen Lastanteilen mit

$$f_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_f} - 0,2} + 0,82 \text{ berücksichtigt.}$$

Rahmentragwerke:

Dabei ist $L_f = k \times L_m$ die maßgebende Länge und $L_m = \frac{1}{n} \times (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$ die mittlere Länge für Träger und Platten über mehrere Felder, wobei n die Anzahl der Felder ist. Bei einem Rahmentragwerk ist die Anzahl der Felder gleich drei. k ist für $n=3$ mit $k=1,3$ berücksichtigt.

dynamischer Beiwert Φ_2 :

Lichte Weite [m]	Stützweite [m]	Stielhöhe [m]	L_m [m]	L_ϕ [m]	Φ_2
3,0	3,45	3,25	3,32	4,31	1,53
6,0	6,60	5,60	5,93	7,71	1,35
9,0	9,80	5,90	7,20	9,36	1,30
12,0	13,00	5,90	8,27	10,75	1,26
15,0	16,20	5,90	9,33	12,13	1,24

Tab. 4 dynamischer Beiwert Rahmentragwerke

Einfeldtragwerk:

Dabei ist L_f die Stützweite des Plattentragwerks.

dynamischer Beiwert Φ_2 :

Stützweite [m]	L_ϕ [m]	Φ_2
2,0	2,00	1,67
4,0	4,00	1,56
6,0	6,00	1,42
8,0	8,00	1,34
10,0	10,00	1,28
12,0	12,00	1,24

Tab. 5 dynamischer Beiwert Plattentragwerke

Lastverteilung:

Zuerst wird untersucht, wie sich die verschiedenen Verteilungen der Verkehrslastmodelle auf die Schnittgrößen auswirken. Dabei wird für das Lastmodell 71 das „Normlastmodell“, das „Federmodell“ sowie das „vereinfachte Lastmodell“ jeweils einmal bis zur Oberkante des Tragwerks und einmal bis zur Mittelebenen des Tragwerks ausgebreitet. Analog werden die Lasten der Lastmodelle SW/2 und „unbelasteter Zug“ ausgebreitet.

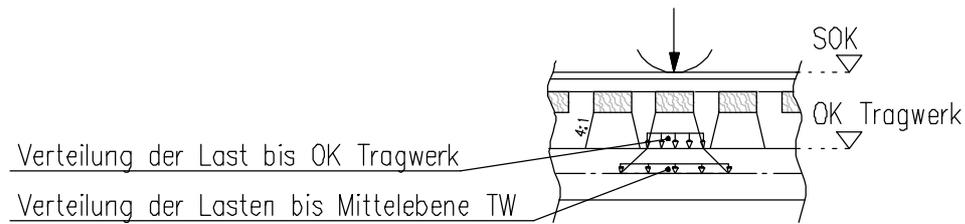


Abb. 26 Lastverteilung

Folgende Verteilungen der Vertikallasten werden berücksichtigt:

- 1) **LM71 - OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden in Längs- und Querrichtung über die Schwelle (L/B/H = 260/26/21) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zu Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks. Die Blocklasten infolge der Einzellasten betragen somit

$$\frac{250 \text{ kN}}{0,46 \text{ m} \times 2,80 \text{ m}} = 194,1 \text{ kN/m} \cdot \text{m}, \text{ die der Streckenlasten}$$

$$\frac{80 \text{ kN/m}}{1,0 \text{ m} \times 2,80 \text{ m}} = 28,6 \text{ kN/m} \cdot \text{m}.$$

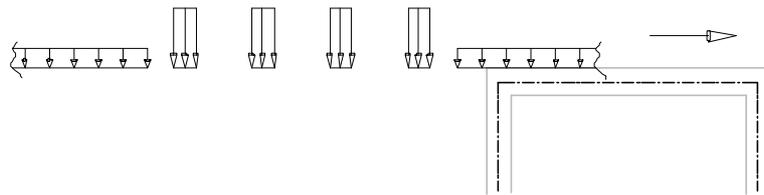


Abb. 27 Lastbild LM71 - OKTW

- 2) **LM71 - MTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden in Längs- und Querrichtung über die Schwelle (L/B/H = 260/26/21) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zu Oberkante des Rohtragwerks ausgebreitet, im Tragwerk erfolgt eine weitere Ausbreitung unter 45° bis zur Mittelebene. Die Blocklasten infolge der Einzellasten betragen für ein Tragwerk mit der Stärke d

$$\frac{250 \text{ kN}}{(0,46 \text{ m} + d) \times (2,80 \text{ m} + d)}, \text{ die der Streckenlasten } \frac{80 \text{ kN/m}}{1,0 \text{ m} \times (2,80 \text{ m} + d)}.$$

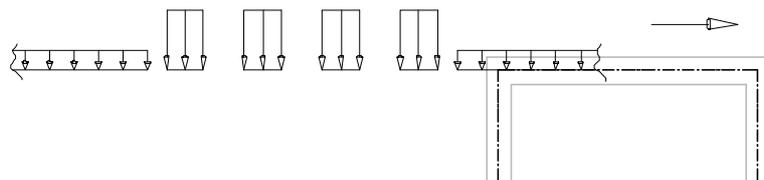


Abb. 28 Lastbild LM71 - MTW

- 3) **LM71 – Federmodell OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden auf die angrenzenden Schwellen ($e=0,6\text{ m}$; $L/B/H = 260/26/21$) aufgeteilt. Die Lasten werden über die Schwelle verteilt und darunter im Schotterbett mit den Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Abfolge der Einzellasten, die auf eine Schwelle wirken, beträgt: 62,5 kN; 125 kN; 62,5kN; 110 kN; 115 kN; 50 kN; 115 kN; 110 kN; 62,5 kN; 125 kN und 62,5 kN. Die Einzellasten werden in Längsrichtung auf einer Länge von 0,46 m und in Querrichtung auf einer Länge von 2,80 m ausgebreitet. Somit ergeben sich für die Blocklasten folgende Belastungen:

Einzellast [kN]	62,5	125	62,5	110	115	50	115
Blocklast [kN/m ²]	48,5	97,0	48,5	85,4	89,3	38,8	89,3	

Tab. 6 Blocklasten des Federmodells

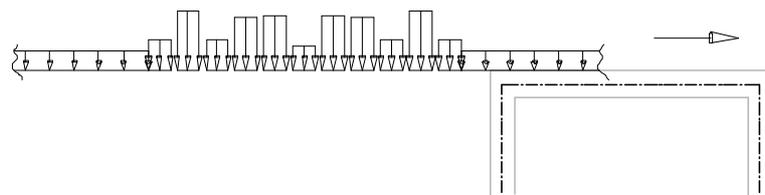


Abb. 29 Lastbild LM71 – Feder - OKTW

- 4) **LM71 – Federmodell MTW:** Die Einzellasten des Federmodells werden in Längsrichtung über die Schwellen und darunter im Schotterbett mit den Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante des Tragwerks verteilt und im Tragwerk bis zur Schwerachse unter 45° ausgebreitet. Die Einzellasten werden in Längsrichtung auf einer Länge von $(0,46\text{ m} + d)$ und in Querrichtung auf einer Länge von $(2,80\text{ m} + d)$ ausgebreitet.
- 5) **LM71 – Gleichlast OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden in Querrichtung über die Schwelle ($L/B/H = 260/26/21$) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zu Oberkante des Rohtragwerkes ausgebreitet. In Längsrichtung werden die Lasten als Gleichlast ausgebreitet. Die Blocklast infolge der Einzellasten beträgt somit $\frac{4 \times 250\text{ kN}}{6,4\text{ m} \times 2,8\text{ m}} = 55,8\text{ kN/m} \cdot \text{m}$, die Flächenlast infolge der Streckenlasten $\frac{80\text{ kN/m}}{2,80\text{ m}} = 28,6\text{ kN/m} \cdot \text{m}$.

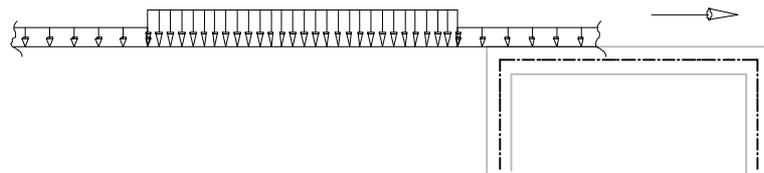


Abb. 30 Lastbild LM71 – Gleichlast - OKTW

- 6) **LM71 – Gleichlast MTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden in Querrichtung über die Schwelle ($L/B/H = 260/26/21$) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zu Oberkante des Rohtragwerkes ausgebreitet. Eine weitere Ausbreitung erfolgt im Tragwerk unter 45° bis zur Mittelebene. In Längsrichtung werden die Lasten als Gleichlast ausgebreitet. Die Blocklast infolge der Einzellasten beträgt somit $\frac{4 \times 250 \text{ kN}}{6,4 \text{ m} \times (2,8 \text{ m} + d)}$, die Flächenlast infolge der Streckenlasten $\frac{80 \text{ kN} / \text{m}}{(2,80 \text{ m} + d)}$.
- 7) **SW/2 - OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells SW/2 werden in Querrichtung über die Schwellen und darunter im Schotterbett in einem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene verteilt. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks. Die Blocklasten infolge SW/2 betragen somit $\frac{150 \text{ kN} / \text{m}}{2,80 \text{ m}} = 53,6 \text{ kN} / \text{m} \cdot \text{m}$.
- 8) **SW/2 - MTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells SW/2 werden in Querrichtung über die Schwellen und darunter im Schotterbett in einem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante des Rohtragwerks verteilt, darunter erfolgt eine Ausbreitung bis zur Mittelebene des Tragwerks unter 45° . Die Blocklasten infolge SW/2 betragen für ein Tragwerk mit der Stärke d $\frac{150 \text{ kN} / \text{m}}{(2,80 \text{ m} + d)}$.
- 9) **„unbelasteter Zug“ - OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells „unbelasteter Zug“ werden in Querrichtung über die Schwellen und darunter im Schotterbett in einem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene verteilt. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks. Die Flächenlasten infolge „unbelasteter Zug“ betragen somit $\frac{10 \text{ kN} / \text{m}}{2,80 \text{ m}} = 3,6 \text{ kN} / \text{m}^2$.

- 10) „unbelasteter Zug“ - MTW: Die Vertikallasten des Lastmodells „unbelasteter Zug“ werden in Querrichtung über die Schwellen und darunter im Schotterbett in einem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante des Rohtragwerks verteilt, darunter erfolgt eine Ausbreitung bis zur Mittelebene des Tragwerks unter 45°. Die Flächenlasten infolge „unbelasteter Zug“ betragen für ein Tragwerk mit der Dicke d $\frac{10kN/m}{(2,80m + d)}$.

3.4. Lasteingabe für räumliche genaue Berechnung

Die Randbedingungen wie Bauwerksabmessungen, Material und Baugrundannahmen u.d.g. sind für die FEM Berechnung und für die vereinfachte Berechnung am Stabtragwerk gleich anzusetzen, damit ein Vergleich der Ergebnisse möglich ist.

3.4.1. Ständige Lasten

Gleis

Genauso wie bei der vereinfachten Berechnung wird die Last in Querrichtung über die Schwellen verteilt und weiter über das Schotterbett im Verhältnis 4:1 bis zu Oberkante der Bezugsebene. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerkes. Erfolgt eine weitere Verteilung der Lasten bis in die Schwerachse des Tragwerkes so erfolgt dies unter einer Ausbreitung von 45°.

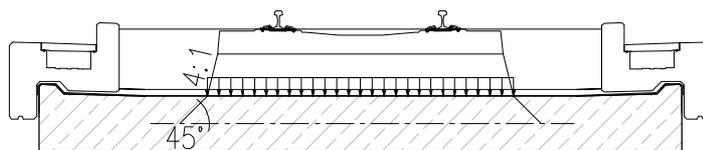


Abb. 31 Gleislasten auf FE Modell

Schotterbett

Bei den eingleisigen Brücken mit überhöhtem Gleis wird bei der Lasteingabe die tatsächliche, variable Dicke des Schotterbettes berücksichtigt.

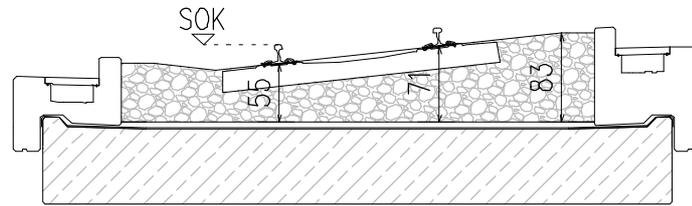


Abb. 32 Schotterbettstärke

3.4.2. Verkehrslasten

Bei der genauen Berechnung am räumlichen Schalentragwerk werden alle Vertikal- und Horizontalanteile der Einwirkung, sowie die Exzentrizitäten und Bildung der Lastgruppen berücksichtigt.

Dynamischer Faktor:

Analog zur vereinfachten Berechnung wird der dynamische Faktor berücksichtigt.

Lastverteilung:

Zuerst wird untersucht, wie sich die verschiedenen Verteilungen des Lastmodell 71 auf die Schnittgrößen auswirken. Es wird hierfür nur der Vertikalanteil ohne Exzentrizität herangezogen.

Folgende Verteilungen der Vertikallasten werden berücksichtigt:

- 1) **LM71 - OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden über die Schwelle (L/B/H = 260/26/21) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zu Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks. Die Blocklasten infolge der Einzellasten betragen

$$\frac{250\text{kN}}{0,46\text{m} \times 2,80\text{m}} = 194,1\text{ kN/m}^2, \text{ die der Streckenlasten } \frac{80\text{kN/m}}{1,0\text{m} \times 2,80\text{m}} = 28,6\text{ kN/m}^2.$$

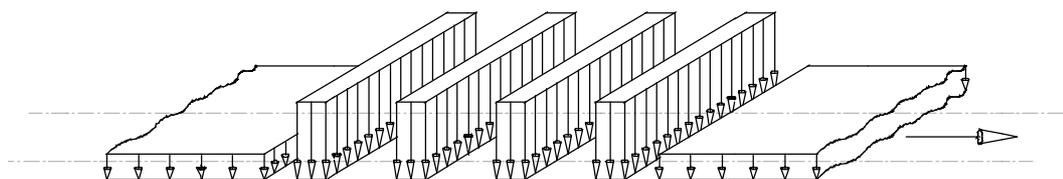


Abb. 33 Lastbild LM71 - OKTW

- 2) **LM71 - MTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden über die Schwelle (L/B/H = 260/26/21) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zu Oberkante des Rohtragwerkes ausgebreitet, im Tragwerk erfolgt eine Ausbreitung unter 45° bis zur Mittelebene. Die Blocklasten infolge der Einzellasten betragen für ein Tragwerk mit einer Stärke von d $\frac{250kN}{(0,46m + d) \times (2,80m + d)} [kN/m^2]$, die der Streckenlasten $\frac{80kN/m}{1,0m \times (2,80m + d)} [kN/m^2m]$.

- 3) **LM71 – Gleichlast OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden in Querrichtung über die Schwelle (L/B/H = 260/26/21) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante des Rohtragwerkes ausgebreitet. In Längsrichtung werden die Lasten als Gleichlast ausgebreitet. Die Blocklast infolge der Einzellasten beträgt $\frac{4 \times 250kN}{6,4m \times 2,8m} = 55,8 kN/m^2$, die Flächenlast infolge der Streckenlasten $\frac{80kN/m}{1,0m \times 2,80m} = 28,6 kN/m^2$.

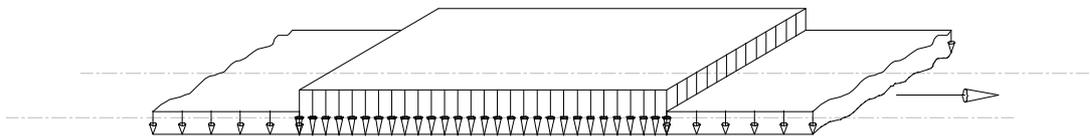


Abb. 34 Lastbild LM71 – Gleichlast - OKTW

- 4) **LM71 – Gleichlast MTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden in Querrichtung über die Schwelle (L/B/H = 260/26/21) verteilt und mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante des Rohtragwerkes ausgebreitet, im Tragwerk erfolgt eine Ausbreitung unter 45° bis zur Mittelebene. In Längsrichtung werden die Lasten als Gleichlast ausgebreitet. Die Blocklast infolge der Einzellasten beträgt für ein Tragwerk mit einer Stärke d $\frac{4 \times 250kN}{6,4m \times (2,8m + d)} [kN/m^2]$, die Flächenlast infolge der Streckenlasten $\frac{80kN/m}{1,0m \times (2,80m + d)} [kN/m^2]$.

- 5) **LM71 – Federmodell OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden auf die angrenzenden Schwellen ($e=0,6$ m; $L/B/H = 260/26/21$) aufgeteilt und über die Schwellen verteilt, darunter werden die Lasten mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante des Rohtragwerks ausgebreitet. Die Fläche, auf die sich ein Last verteilt ist mit $0,46$ m x $2,80$ m unter Berücksichtigung der Schwellenabmessungen und der Schotterbettstärke angenommen.

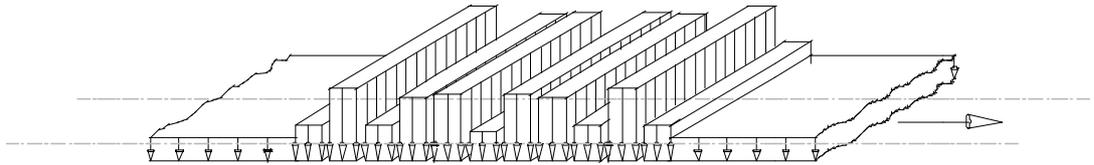


Abb. 35 Lastbild LM71 – Feder - OKTW

- 6) **LM71 – Federmodell MTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells 71 werden auf die angrenzenden Schwellen ($e=0,6$ m; $L/B/H = 260/26/21$) aufgeteilt und über die Schwellen verteilt, darunter werden die Lasten mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante des Rohtragwerks und dann unter einem Winkel von 45° bis zur Schwerachse des Tragwerks ausgebreitet. Die Fläche, auf die sich ein Last verteilt ist mit $(0,46$ m+d) x $(2,80$ m+d) unter Berücksichtigung der Schwellenabmessungen, der Schotterbettstärke und der Tragwerksdicke angenommen.

Berücksichtigung der Exzentrizität und Verschiebungen für LM 71:

Die seitliche Exzentrizität der Vertikallast setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

- Resultierende Ausmitte e der Vertikallast infolge ungleicher Beladung
 $e = \pm 0,083$ m

- Planmäßige Ausmitte e' der Vertikallast infolge Überhöhung bezogen auf den Querschnittsschwerpunkt mit:

$$s = 1,5 \text{ m} \quad \text{Spurweite}$$

$$u = 0,16 \text{ m} \quad \text{Gleisüberhöhung}$$

$$\tan a = 0,16/1,5$$

$$a = 6,089^\circ \quad \text{Neigung des Gleises}$$

$$= 0,106 \text{ rad}$$

$$h = 1,80 \text{ m} \quad \text{Abstand zwischen Angriffspunkt der Last und Schienenoberkante}$$

ergibt sich:

$$e' = \sin a \cdot 1,80 \text{ m}$$

$$= 0,191 \text{ m}$$

Die maximale Exzentrizität des Lastmodells LM 71 ergibt sich zu:

$$e_{\max} = e + e'$$

$$= 0,083 + 0,191$$

$$= 0,274 \text{ m}$$

Die minimale Exzentrizität beträgt analog:

$$e_{\min} = e' - e$$

$$= 0,191 - 0,083 = 0,108$$

$$= 0,108 \text{ m}$$

Für eine spätere Verschiebung e'' der Gleislage wird

$$e'' = \pm 0,10 \text{ m}$$

berücksichtigt.

Durch die Verschiebung der Gleislage wird nicht wie bei den Exzentrizitäten eine ungleiche Pressung der Lasten verursacht, sondern der gesamte „Lastblock“ verschiebt sich um e'' .

Die Belastung infolge LM 71 unter Berücksichtigung der maximalen Exzentrizität wird wie folgt durch unterschiedliche Pressung berücksichtigt, dabei wird jene Lastverteilung

herangezogen, bei der die Lasten über die Schwelle und im Schotterbett bis Oberkante Tragwerk verteilt werden:

$$M = 250kN \times 0,274m = 68,5kNm$$

Moment infolge der Einzellasten und e_{\max} .

$$M = 80kN / m \times 0,274m = 21,9kNm / m$$

Moment infolge der Streckenlasten und e_{\max} .

$$W = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{0,46 \times 2,8^2}{6} = 0,6m^3$$

Widerstandsmoment für Einzellasten, wenn angenommen wird, dass sich Schwelle und Schotterbett für die Verteilung der Lasten wie ein Starrkörper verhält.

$$W = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{1,0 \times 2,8^2}{6} = 1,3m^3 / m$$

Widerstandsmoment für die Streckenlasten, wenn angenommen wird, dass sich Schwelle und Schotterbett für die Verteilung der Lasten wie ein Starrkörper verhält.

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{250}{0,46 \times 2,8} \pm \frac{68,5}{0,6} = \frac{308,1kN}{m^2} \pm \frac{80,1kN}{m^2}$$

variable, linear veränderliche Blocklast infolge der Einzellasten des Lastmodells LM 71 unter Berücksichtigung der Exzentrizität.

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{80}{1,0 \times 2,8} \pm \frac{21,9}{1,3} = \frac{45,3kN}{m^2} \pm \frac{11,8kN}{m^2}$$

variable, linear veränderliche Flächenlast infolge der Streckenlast des Lastmodells LM 71 unter Berücksichtigung der Exzentrizität.

Unter Berücksichtigung der Exzentrizität ergibt sich folgendes Lastbild:

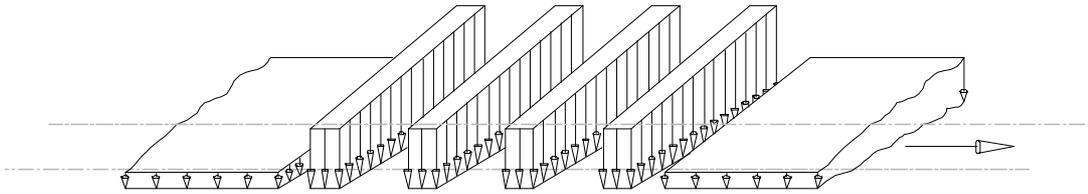


Abb. 36 Lastbild LM71 – OKTW mit Berücksichtigung von e_{\max}

Dazu wird die Verschiebung e'' berücksichtigt:

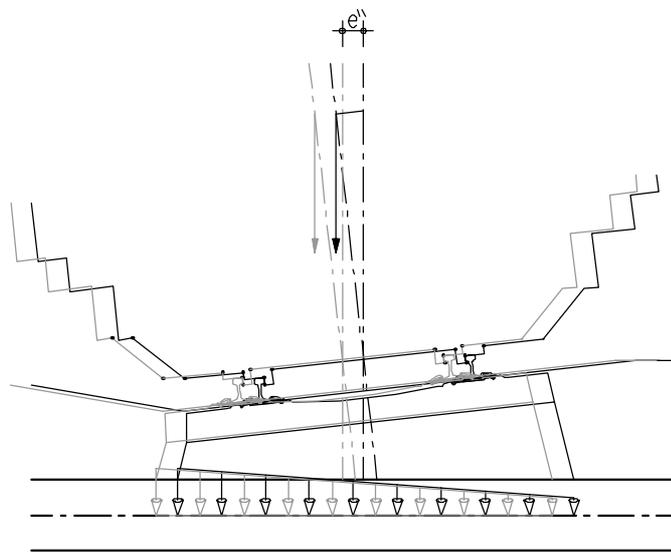


Abb. 37 Lastbild LM71 – OKTW mit Berücksichtigung von e_{\max} und e''

Analog werden die Lasten für die Berücksichtigung der minimalen Exzentrizität berechnet.

$$M = 250\text{kN} \times 0,108\text{m} = 27,0\text{kNm}$$

Moment infolge der Einzellasten
und e_{\min} .

$$M = 80\text{kN} / \text{m} \times 0,108\text{m} = 8,6\text{kNm} / \text{m}$$

Moment infolge der Streckenlasten
und e_{\min} .

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{250}{0,46 \times 2,8} \pm \frac{27,0}{0,6} = \frac{239,0\text{kN}}{1,288\text{m}^2} \pm \frac{45,0\text{kNm}}{0,6\text{m}^3}$$

variable, linear veränderliche
Blocklast infolge der Einzellasten
des Lastmodells LM 71 unter
Berücksichtigung der Exzentrizität.

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{80}{1,0 \times 2,8} \pm \frac{8,6}{1,3} = \frac{35,2 \text{ kN} / \text{m}^2}{22,0 \text{ kN} / \text{m}^2}$$

variable, linear veränderliche Flächenlast infolge der Streckenlast des Lastmodells LM 71 unter Berücksichtigung der Exzentrizität.

Dazu wird analog der maximalen Exzentrizität die Verschiebung e'' berücksichtigt.

Verteilung der Lasten infolge Überhöhung der Gleise:

Durch die Berücksichtigung der Gleisüberhöhung und die damit verbundene variable Schotterbettstärke, wird die Ausbreitungsfläche der Last trapezförmig. Dieser Aspekt wird jedoch in der Berechnung nicht berücksichtigt, da die Auswirkung vernachlässigbar klein ist. Als Ausbreitfläche wird ein Rechteck berücksichtigt, das einer Ausbreitung im 55 cm starkem Schotterbett ohne Gleisüberhöhung zugrunde liegt.

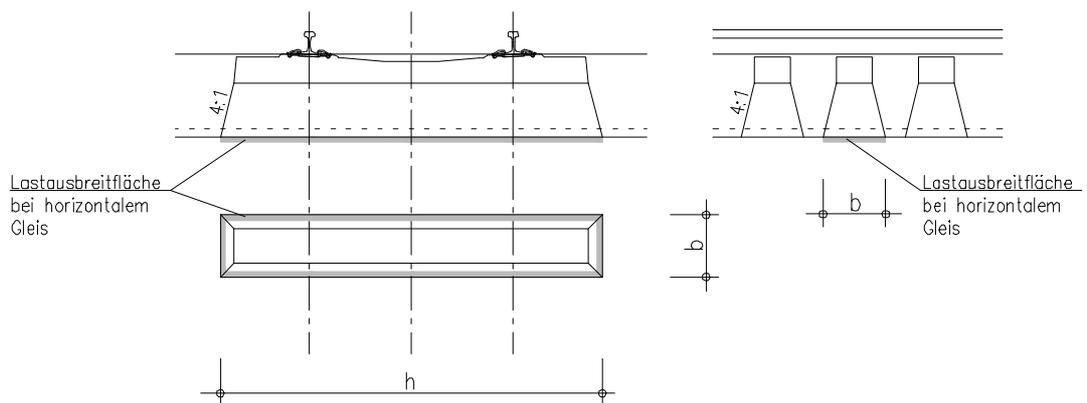


Abb. 38 Ausbreitfläche der Last, eines horizontalen Gleises

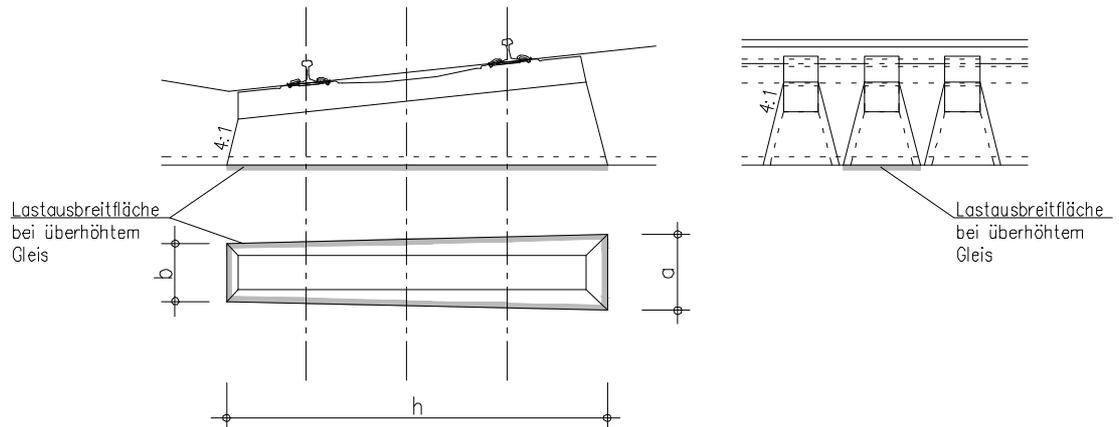


Abb. 39 Ausbreitfläche der Last, eines überhöhten Gleises

Wird von einer Lastausbreitung bis zu Oberkante des Rohtragwerks ausgegangen, so sind die Abmessungen der trapezförmigen Ausbreitfläche folgende:

$$\begin{aligned} a &= 0,57 \text{ m} \\ b &= 0,43 \text{ m} \\ h &= 2,82 \text{ m.} \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich ein Widerstandsmoment der Ausbreitfläche

$$W = \frac{(a+b)^2 + 2ab}{12 \times (2a+b)} \times h^2 = \frac{(0,57+0,43)^2 + 2 \times 0,57 \times 0,43}{12 \times (2 \times 0,57 + 0,43)} \times 2,82^2 = 0,63 \text{ m}^3.$$

Dieser geringe Unterschied wird bei der Lasteingabe vernachlässigt.

Die Exzentrizitäten und Gleislageänderungen werden auch bei einer Verteilung der Last bis zur Mittelebene des Tragwerks berücksichtigt. Die dadurch entstehende ungleiche Pressung wird analog der vorangegangenen Berechnung unter Berücksichtigung der größeren Lastausbreitungsfläche berücksichtigt.

LASTMODELL „UNBELADENER ZUG“:

Das Lastbild des „unbeladenen Zugs“ wird durch Auswertung der Lastspur so am Tragwerk aufgebracht, dass es die Extremwerte der Schnittkräfte an den Nachweisstellen hervorruft.

Zuerst werden unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Verteilungen der Lasten nur die Vertikalanteile des Lastmodells „unbeladener Zug“ untersucht.

Wie beim LM 71 werden einerseits Lastverteilungen über die Schwellen und über das Schotterbett bis Oberkante Tragwerk und andererseits Lastverteilungen bis zur Mittelebene des Tragwerks berücksichtigt.

- 1) **„unbeladener Zug“ - OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells „unbeladener Zug“ werden über die Schwelle verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks. Die Flächenlast infolge der Streckenlasten beträgt

$$\frac{10\text{kN}/\text{m}}{1,0\text{m} \times 2,80\text{m}} = 3,6\text{kN}/\text{m}^2 \cdot$$

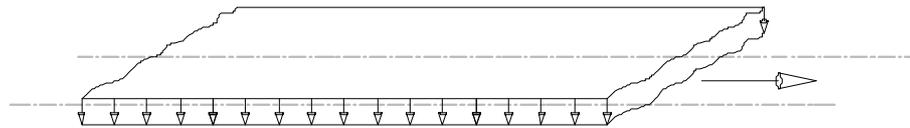


Abb. 40 Lastbild „unbeladener Zug“ – OKTW

- 2) **„unbeladener Zug“ - MTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells „unbeladener Zug“ werden über die Schwelle verteilt und mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet, im Tragwerk erfolgt eine Ausbreitung unter 45° bis zur Mittelebene. Die Flächenlast infolge der Streckenlasten beträgt

$$\text{für ein Tragwerk mit der Stärke } d \frac{10\text{kN}/\text{m}}{1,0\text{m} \times (2,80\text{m} + d)} [\text{kN}/\text{m}^2].$$

Berücksichtigung der Exzentrizität und der Verschiebung für Lastmodell „unbeladener Zug“:

Beim Lastmodell „unbeladener Zug“ ist nur die planmäßige Ausmitte e' der Vertikallast infolge Überhöhung der Gleise und die Verschiebung der Gleisachse e'' infolge späterer Gleislageänderung anzusetzen.

Die seitliche Exzentrizität aus planmäßiger Ausmitte e'' der Vertikallast infolge Überhöhung bezogen auf den Querschnittsschwerpunkt ergibt sich zu:

$$\begin{aligned}
 s &= 1,5 \text{ m} && \text{Spurweite} \\
 u &= 0,16 \text{ m} && \text{Gleisüberhöhung} \\
 \tan a &= 0,16/1,5 \\
 a &= 6,089^\circ && \text{Neigung des Gleises} \\
 &= 0,106 \text{ rad} \\
 h &= 1,80 \text{ m} && \text{Abstand zwischen Angriffspunkt der Last und} \\
 &&& \text{Schienenoberkante}
 \end{aligned}$$

ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 e'' &= \sin a \cdot 1,80 \text{ m} \\
 &= 0,191 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Für eine spätere Verschiebung der Gleislage wird

$$e'' = \pm 0,10 \text{ m}$$

berücksichtigt.

Wie die Belastung unter Berücksichtigung der Exzentrizität und der Verschiebung am Rechenmodell aufgebracht werden erfolgt analog zum Lastmodell LM 71, dabei wird jene Lastverteilung herangezogen, bei der die Lasten über die Schwelle und im Schotterbett bis Oberkante Tragwerk verteilt werden:

$$M = 10 \text{ kN/m} \times 0,191 \text{ m} = 1,9 \text{ kNm/m} \quad \text{Moment infolge der Streckenlasten und } e_{\max}.$$

$$W = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{1,0 \times 2,8^2}{6} = 1,3 \text{ m}^3/\text{m} \quad \text{Widerstandsmoment für die Streckenlasten, wenn angenommen wird, dass sich Schwelle und Schotterbett für die Verteilung der Lasten wie ein Starrkörper verhalten.}$$

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{10}{1,0 \times 2,8} \pm \frac{1,9}{1,3} = \frac{5,0 \text{ kN} / \text{m}^2}{2,1 \text{ kN} / \text{m}^2}$$

Variable, linear veränderliche

Flächenlast infolge der Streckenlast des Lastmodells „unbelasteter Zug“ unter Berücksichtigung der Exzentrizität.

Dazu wird analog dem Lastmodell 71 die Verschiebung der Gleislage e'' berücksichtigt.

Die Exzentrizitäten und Gleislageänderungen werden auch bei einer Verteilung der Last bis zur Mittelebene des Tragwerks berücksichtigt. Die dadurch entstehende ungleiche Pressung wird analog der vorangegangenen Berechnung unter Berücksichtigung der größeren Lastausbreitungsfläche berücksichtigt.

LASTMODELL SW/2:

Das Lastbild des SW/2 wird durch Auswertung der Lastspur, so am Tragwerk aufgebracht, dass es die Extremwerte der Schnittkräfte an den Nachweisstellen hervorrufen.

Zuerst werden unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Verteilungen der Lasten nur die Vertikalanteile des Lastmodells SW/2 untersucht.

Wie beim LM 71 werden einerseits Lastverteilungen über die Schwellen und über das Schotterbett bis Oberkante Tragwerk und andererseits Lastverteilungen bis zur Mittelebene des Tragwerks berücksichtigt.

- 1) **„SW/2“ - OKTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells SW/2 werden über die Schwelle verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks. Die Blocklasten infolge der Streckenlasten betragen

$$\frac{150 \text{ kN/m}}{1,0 \text{ m} \times 2,80 \text{ m}} = 53,6 \text{ kN/m}^2.$$

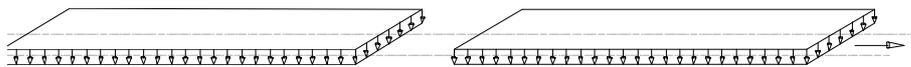


Abb. 41 Lastbild SW/2 – OKTW

- 2) **„SW/2“ - MTW:** Die Vertikallasten des Lastmodells SW/2 werden über die Schwelle verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante des Rohtragwerks ausgebreitet, im Tragwerk erfolgt eine Ausbreitung unter 45° bis zur Mittelebene. Die Blocklasten infolge der Streckenlasten betragen für ein Tragwerk

mit der Stärke d $\frac{150 \text{ kN/m}}{1,0 \text{ m} \times (2,80 \text{ m} + d)} \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$.

Berücksichtigung der Exzentrizität und der Verschiebungen der Gleislage für Lastmodell SW/2:

Beim Lastmodell SW/2 ist nur die planmäßige Ausmitte e' der Vertikallast infolge Überhöhung der Gleise und die Verschiebung e'' infolge späterer Gleislageänderung anzusetzen.

Die seitliche Exzentrizität aus planmäßiger Ausmitte e' der Vertikallast infolge Überhöhung bezogen auf den Querschnittsschwerpunkt errechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 s &= 1,5 \text{ m} && \text{Spurweite} \\
 u &= 0,16 \text{ m} && \text{Gleisüberhöhung} \\
 \tan a &= 0,16/1,5 \\
 a &= 6,089^\circ && \text{Neigung des Gleises} \\
 &= 0,106 \text{ rad} \\
 h &= 1,80 \text{ m} && \text{Abstand zwischen Angriffspunkt der Last und} \\
 &&& \text{Schienenoberkante} \\
 &&& \text{ergibt sich:} \\
 e' &= \sin a \cdot 1,80 \text{ m} \\
 &= 0,191 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Für eine spätere Verschiebung der Gleislage wird

$$\begin{aligned}
 e'' &= \pm 0,10 \text{ m} \\
 &\text{berücksichtigt.}
 \end{aligned}$$

Wie die Belastung unter Berücksichtigung der Exzentrizität und der Verschiebung am Rechenmodell aufgebracht werden, erfolgt analog zum Lastmodell LM 71. Dabei wird jene Lastverteilung herangezogen, bei der die Lasten über die Schwelle und im Schotterbett bis Oberkante Tragwerk verteilt werden:

$$M = 150 \text{ kN/m} \times 0,191 \text{ m} = 28,7 \text{ kNm/m} \quad \text{Moment infolge der Streckenlasten und } e_{\text{max}}.$$

$$W = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{1,0 \times 2,8^2}{6} = 1,3 \text{ m}^3 / \text{m}$$

Widerstandsmoment für die Streckenlasten, wenn angenommen wird, dass sich Schwelle und Schotterbett für die Verteilung der Lasten wie ein Starrkörper verhält.

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{150}{1,0 \times 2,8} \pm \frac{28,7}{1,3} = \frac{75,5 \text{ kN/m}^2}{31,6 \text{ kN/m}^2}$$

variable, linear veränderliche Flächenlast infolge der Streckenlast des Lastmodells SW/2 unter Berücksichtigung der Exzentrizität.

Dazu wird analog dem Lastmodell 71 die Verschiebung der Gleislage e'' berücksichtigt.

Die Exzentrizitäten und Gleislageänderungen werden auch bei einer Verteilung der Last bis zur Mittelebene des Tragwerks berücksichtigt. Die dadurch entstehende ungleiche Pressung wird analog der vorangegangenen Berechnung unter Berücksichtigung der größeren Lastausbreitungsfläche berücksichtigt.

ANFAHREN und BREMSEN:

Das Lastbild aus Anfahren und Bremsen wird so am Rechenmodell aufgebracht, dass an den Nachweisstellen die Extremwerte der Schnittkräfte hervorgerufen werden. Wie bei den Vertikallasten, wird zwischen Verteilung bis Oberkante des Rohtragwerks und Verteilung bis Mittelebene des Tragwerks unterschieden.

Folgende Lastbilder werden berücksichtigt:

- 1) **Anfahren – OKTW:** Die Einwirkung aus Anfahren wird über die Schwellen und über das Schotterbett mit einem Verhältnis von 4:1 bis Oberkante des Rohtragwerks auf eine Breite von 2,8 m über die gesamte Länge des Tragwerkes verteilt. Die charakteristische Anfahrlast für das Lastmodell 71 und SW/2 beträgt

$$\frac{33kN/m}{2,8m} = \pm 11,8kN/m^2.$$

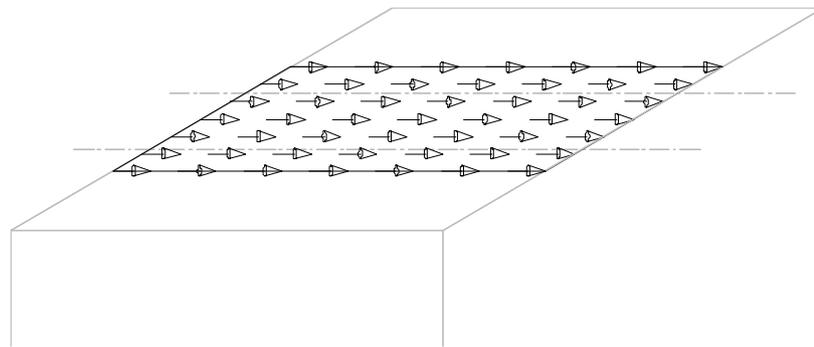


Abb. 42 Lastbild Anfahren – OKTW

- 2) **Anfahren – MTW:** Die Einwirkung aus Anfahren wird über die Schwellen und über das Schotterbett mit einem Verhältnis von 4:1 bis Oberkante des Rohtragwerks in Querrichtung ausgebreitet, darunter erfolgt eine Verteilung unter 45° bis zur Mittelebene des Tragwerks. Die Verteilbreite für ein Tragwerk mit der Stärke d beträgt $2,8 m + d$. In Längsrichtung erfolgt eine Verteilung über die gesamte Länge des Tragwerkes. Die charakteristische Anfahrlast für das Lastmodell 71 und SW/2 beträgt

$$\frac{33kN/m}{2,8m + d} = [kN/m^2].$$

- 3) **Bremsen LM71 – OKTW:** Die Einwirkung aus Bremsen für das Lastmodell 71 wird über die Schwellen und über das Schotterbett mit einem Verhältnis von 4:1 bis Oberkante des Rohtragwerks auf eine Breite von 2,8 m über die gesamte Länge

des Tragwerkes verteilt. Die charakteristische Bremslast für das Lastmodell 71 beträgt $\frac{20kN/m}{2,8m} = \pm 7,1kN/m^2$.

- 4) **Bremsen LM71 – MTW:** Die Einwirkung aus Bremsen für das Lastmodell 71 wird über die Schwellen und über das Schotterbett mit einem Verhältnis von 4:1 bis Oberkante des Rohtragwerks in Querrichtung ausgebreitet, darunter erfolgt eine Verteilung unter 45° bis zur Mittelebene des Tragwerkes. Die Verteilbreite für ein Tragwerk mit der Stärke d beträgt $2,8m + d$. In Längsrichtung erfolgt eine Verteilung über die gesamte Länge des Tragwerkes. Die charakteristische Bremslast für das Lastmodell 71 beträgt $\frac{20kN/m}{2,8m + d} = [kN/m^2]$.
- 5) **Bremsen SW2 – OKTW:** Die Einwirkung aus Bremsen für das Lastmodell SW2 wird über die Schwellen und über das Schotterbett mit einem Verhältnis von 4:1 bis Oberkante des Rohtragwerks auf eine Breite von 2,8 m über die gesamte Länge des Tragwerkes verteilt. Die charakteristische Bremslast für das Lastmodell SW2 beträgt $\frac{35kN/m}{2,8m} = \pm 12,5kN/m^2$.
- 6) **Bremsen SW2 – MTW:** Die Einwirkung aus Bremsen für das Lastmodell SW2 wird über die Schwellen und über das Schotterbett mit einem Verhältnis von 4:1 bis Oberkante des Rohtragwerks in Querrichtung ausgebreitet, darunter erfolgt eine Verteilung unter 45° bis zur Mittelebene des Tragwerkes. Die Verteilbreite für ein Tragwerk mit der Stärke d beträgt $2,8m + d$. In Längsrichtung erfolgt eine Verteilung über die gesamte Länge des Tragwerkes. Die charakteristische Bremslast für das Lastmodell SW2 beträgt $\frac{35kN/m}{2,8m + d} = [kN/m^2]$.

Gemeinsame Antwort von Tragwerk und Gleis:

Unter Erfüllung der Voraussetzung für die Anwendung des Einfachen Verfahrens gemäß ÖNORM EN 1991-2 für einen Einzelüberbau kann ein Abminderungsfaktor ξ von 0,6 angewendet werden. Die dazu zu berücksichtigenden Längskräfte F_{Tk} heben sich bei Überbauten auf, bei denen sich der Festhaltepunkt in der Mitte befindet. Bei Rahmenbauwerken ist dieser Festhaltepunkt in der Mitte des Überbaues.

FLIEHKRÄFTE:

Wie auch bei den Vertikallasten, wird bei der Fliehkraft zwischen Verteilung bis Oberkante Tragwerk und Verteilung bis Mittelebene des Tragwerkes je nach zugehöriger Vertikallast unterschieden.

Diese Schnittgrößen sind stets mit den zugehörigen Vertikallasten des jeweiligen Lastmodells zu kombinieren. Bei Brücken im Kreisbogen mit Geschwindigkeiten über 120 km/h sind stets folgende Lastfälle zu untersuchen:

- 1) LM 71 Vertikalanteil, mit dynamischen Beiwert und Lastklassenbeiwert $\alpha = 1,21$
keine Fliehkraft
- 2) LM 71 Vertikalanteil, mit dynamischen Beiwert und Lastklassenbeiwert $\alpha = 1,21$
Fliehkraft infolge 120 km/h mit Lastklassenbeiwert $\alpha = 1,21$ und Abminderungsfaktor $f=1$
- 3) LM 71 Vertikalanteil, mit dynamischen Beiwert und Lastklassenbeiwert $\alpha = 1,00$
Fliehkraft infolge tatsächlicher Geschwindigkeit mit Abminderungsfaktor f und Lastklassenbeiwert $\alpha = 1,00$
- 4) SW/2 Vertikalanteil, mit dynamischen Beiwert
Fliehkraft infolge 80 km/h

Der Abstand des Angriffspunktes der Horizontallast zum Querschnittsschwerpunkt ergibt sich folgendermaßen:

h^{\prime}	$= \cos \alpha \cdot 1,80 \text{ m}$	lotrechter Abstand zwischen Horizontal-
	$= 1,80 \text{ m}$	lasten und SOK + $u/2$
$h^{\prime\prime}$	$= 0,862 \text{ m}$	lotrechter Abstand zwischen (SOK + $u/2$)
		und Oberkante Überbau
z^{\prime}	$= d/2$	lotrechter Abstand zwischen Oberkante
		Überbau und Schwerpunkt Überbau
		($d = \text{Tragwerksstärke}$)
$z_{t,tot}$	$= -(h^{\prime} + h^{\prime\prime} + z^{\prime})$	
	$= 2,662 \text{ m} + z^{\prime}$	
	$= 2,662 \text{ m} + d/2$	

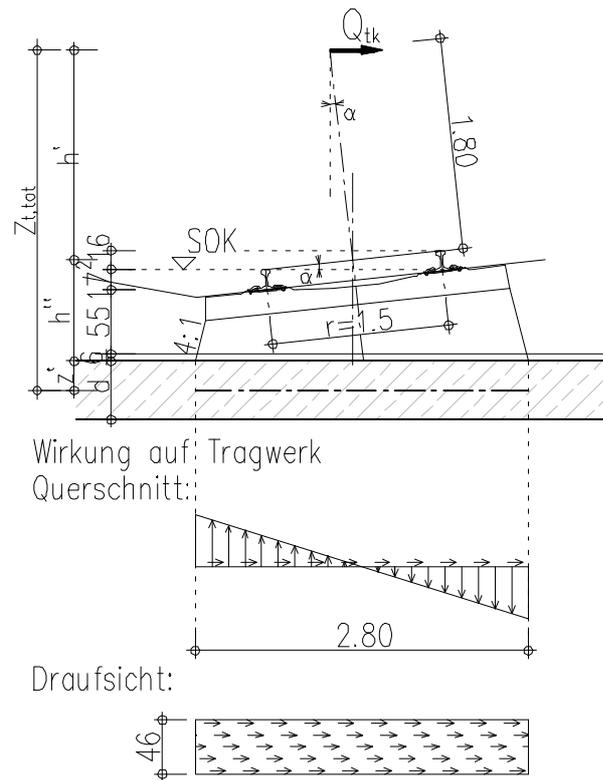


Abb. 43 Hebel und Lastbild Fliehkraft – OKTW

Zentrifugallast in Werten:

Stellvertretend für alle Systeme wird hier die Fliehkraft für den Rahmen mit 6,00 m lichte Weite ermittelt. Die Einflusslänge L_f ist gleich der Stützweite und somit 6,60 m.

LM71, für 250kN Einzellasten:

Q_{vk} [kN]	L_f [m]	V [km/h]	\ddot{u} [mm]	R [m]	f	Q_{tk} [kN]
250	6,60	81,4	160	300,7	1,000	43,37
250	6,60	120	160	653,5	1,000	43,37
250	6,60	200	160	1815,4	0,842	36,52

LM71, für 80kN/m Gleichlasten:

q_{vk} [kN/m]	L_f [m]	V [km/h]	\ddot{u} [mm]	R [m]	f	q_{tk} [kN/m]
80	6,60	81,4	160	300,7	1,000	13,88
80	6,60	120	160	653,5	1,000	13,88
80	6,60	200	160	1815,4	0,842	11,69

SW/2, für 150kN/m Gleichlasten:

q_{vk} [kN/m]	L_f [m]	V [km/h]	\ddot{u} [mm]	R [m]	f	q_{tk} [kN/m]
150	6,60	80	160	290,5	1,000	26,02

unbelasteter Zug, für 120kN/m Gleichlasten:

q_{vk} [kN/m]	L_f [m]	V [km/h]	\ddot{u} [mm]	R [m]	f	q_{tk} [kN/m]
10	6,60	120	160	653,5	1,000	1,73

Tab. 7 Fliehkräfte für Rahmen (LW 6,0 m)

Aus der Tabelle geht hervor, dass für das Lastmodell 71 jene Fliehkraft maßgebend ist, die einer Geschwindigkeit von 120 km/h zugrunde liegt.

Die Einflusslänge findet bei der Ermittlung der Fliehkräfte nur in der Formel des Abminderungsfaktors Berücksichtigung. Die Ermittlung der Fliehkräfte ist dann Stützweitenunabhängig wenn die Fliehkräfte bei Geschwindigkeiten von 200 km/h mit den Abminderungsfaktor nie maßgebend werden.

In folgenden Tabellen erkennt man, dass bei allen Stützweiten die Fliehkräfte bei 200 km/h immer geringer sind als bei 120 km/h mit dem Abminderungsfaktor 1,0.

LM71, für 250kN Einzellasten:

Q_{vk} [kN]	L_f [m]	V [km/h]	\ddot{u} [mm]	R [m]	f	Q_{tk} [kN]
250	-	120	160	653,5	1,000	43,37
250	4,00	200	160	1815,4	0,929	40,31
250	6,00	200	160	1815,4	0,857	37,17
250	8,00	200	160	1815,4	0,814	35,30
250	10,00	200	160	1815,4	0,784	34,02
250	12,00	200	160	1815,4	0,762	33,07
250	3,45	200	160	1815,4	0,960	41,63
250	6,60	200	160	1815,4	0,842	36,52
250	0,80	200	160	1815,4	1,418	61,50
250	13,00	200	160	1815,4	0,754	32,68
250	16,25	200	160	1815,4	0,730	31,68

Tab. 8 maßgebende Fliehkräfte (Einzellasten)

LM71, für 80kN/m Gleichlasten:

q_{vk} [kN/m]	L_f [m]	V [km/h]	\ddot{u} [mm]	R [m]	f	q_{tk} [kN/m]
80	-	120	160	653,5	1,000	13,88
80	4,00	200	160	1815,4	0,929	12,90
80	6,00	200	160	1815,4	0,857	11,89
80	8,00	200	160	1815,4	0,814	11,29
80	10,00	200	160	1815,4	0,784	10,89
80	12,00	200	160	1815,4	0,762	10,58
80	3,45	200	160	1815,4	0,960	13,32
80	6,60	200	160	1815,4	0,842	11,69
80	9,80	200	160	1815,4	0,787	10,92
80	13,00	200	160	1815,4	0,754	10,46
80	16,25	200	160	1815,4	0,730	10,14

Tab. 9 maßgebende Fliehkräfte (Gleichlast)

Folgende Lastbilder der Fliehkraft werden zu den zugehörigen Vertikallasten berücksichtigt:

- 1) **Fliehkraft LM71 - OKTW:** Die Fliehkräfte des Lastmodells 71 werden über die Schwelle ($L/B/H = 260/26/21$) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zur

Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks.

Die Horizontallast beträgt für die aus der Einzellast her resultierende Fliehkraft

$$\frac{Q_{ik}}{A} = \frac{43,37}{0,46 \times 2,8} = 33,67 \text{ kN} / \text{m}^2, \text{ für die aus der Streckenlast her resultierenden}$$

$$\text{Fliehkraft } \frac{q_{ik}}{A} = \frac{13,88}{1,0 \times 2,8} = 4,96 \text{ kN} / \text{m}^2 .$$

Die aus der Fliehkraft entstehenden Momente sind wie folgt berücksichtigt:

$$M = 43,37 \text{ kN} \times (2,662 \text{ m} + \frac{d}{2}) \quad \text{Moment infolge der Fliehkraft der Einzellasten.}$$

$$M = 13,88 \text{ kN} / \text{m} \times (2,662 \text{ m} + \frac{d}{2}) \quad \text{Moment infolge der Fliehkraft der Streckenlast.}$$

Die Pressungen bzw. abhebenden Kräfte, die auf das Tragwerk wirken errechnen sich zum Beispiel für ein 60 cm dickes Tragwerk wie folgt:

$$\pm \frac{M}{W} = \pm \frac{43,37 \times 2,912}{0,6} = \begin{matrix} 77,2 \text{ kN} / \text{m}^2 \\ -77,2 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{variable, linear veränderliche} \\ \text{Blocklast infolge der Fliehkraft der} \\ \text{Einzellasten des Lastmodells} \\ \text{LM 71.} \end{matrix}$$

$$\pm \frac{M}{W} = \pm \frac{13,88 \times 2,912}{1,3} = \begin{matrix} 31,1 \text{ kN} / \text{m}^2 \\ -31,1 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{variable, linear veränderliche} \\ \text{Flächenlast infolge der Fliehkraft} \\ \text{der Streckenlast des Lastmodells} \\ \text{LM .} \end{matrix}$$

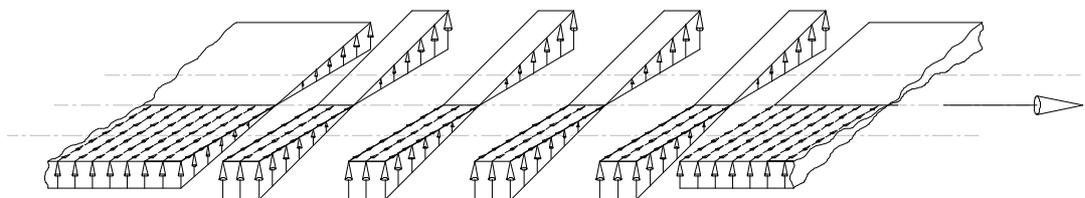


Abb. 44 Lastbild Fliehkraft - LM71 - OKTW

- 2) **Fliehkraft LM71 - MTW:** Analog zum Lastbild der Fliehkraft infolge LM 71 ausgebreitet bis Oberkante Rohtragwerk werden die Lasten bis zur Mittelebene des Tragwerks ausgebreitet.
- 3) **Fliehkraft SW2 - OKTW:** Die Fliehkräfte des Lastmodells SW/2 werden über die Schwelle (L/B/H = 260/26/21) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks. Die Blocklast der Horizontalkräfte beträgt $\frac{q_{tk}}{A} = \frac{26,02}{1,0 \times 2,8} = 9,29 \text{ kN} / \text{m}^2$. Die aus dem Moment her resultierende Pressung bzw. abhebende Komponente errechnet sich gleich wie bei dem LM 71.
- 4) **Fliehkraft SW2 - MTW:** Analog zum Lastbild der Fliehkraft infolge SW/2 ausgebreitet bis Oberkante Rohtragwerk werden die Lasten bis zur Mittelebene des Tragwerks ausgebreitet.
- 5) **Fliehkraft „unbelasteter Zug“ - OKTW:** Die Fliehkräfte des Lastmodells „unbelasteter Zug“ werden über die Schwelle (L/B/H = 260/26/21) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks. Die Flächenlast der Horizontalkräfte beträgt $\frac{q_{tk}}{A} = \frac{1,73}{1,0 \times 2,8} = 0,62 \text{ kN} / \text{m}^2$. Die aus dem Moment her resultierende Pressung bzw. abhebende Komponente errechnet sich gleich wie bei dem LM 71.
- 6) **Fliehkraft „unbelasteter Zug“ - MTW:** Analog zum Lastbild der Fliehkraft infolge „unbelasteter Zug“ ausgebreitet bis Oberkante Rohtragwerk werden die Lasten bis zur Mittelebene des Tragwerks ausgebreitet.
-

SEITENSTOSS:

Wie auch bei den Vertikallasten, wird bei dem Seitenstoß zwischen Verteilung bis Oberkante Tragwerk und Verteilung bis Mittelebene des Tragwerks je nach zugehöriger Vertikallast unterschieden. Das Lastbild des Seitenstoßes wird so am Tragwerk aufgebracht, dass bei den Nachweisstellen die ungünstigsten Schnittkräfte entstehen, dies erfolgt durch Auswertung einer Lastspur. Der Seitenstoß tritt zwar nur in Verbindung mit einer Vertikallast auf, die Position am Tragwerk ist jedoch unabhängig von der Stellung der Vertikallast. Die Belastung aus dem Seitenstoß wird nur über eine Schwelle auf das Tragwerk übertragen, eine Verteilung des Seitenstoßes auf mehrere Schwellen wird nicht maßgebend sei.

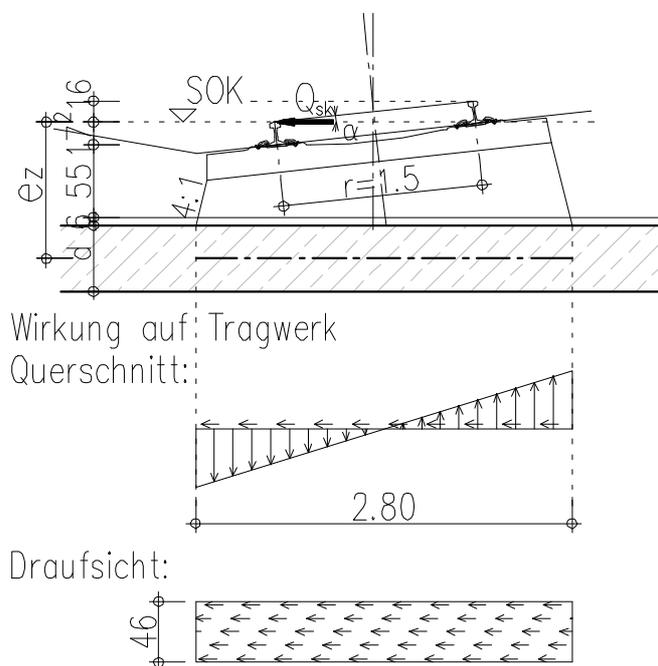


Abb. 45 Hebel und Lastbild Seitenstoß – OKTW

Folgende Lastbilder des Seitenstoßes werden zu den Vertikallasten berücksichtigt:

- 1) **Seitenstoß - OKTW:** Der Seitenstoß wird über die Schwelle ($L/B/H = 260/26/21$) verteilt und darunter mit dem Verhältnis 4:1 bis zur Oberkante der Bezugsebene ausgebreitet. Die Bezugsebene ist die Oberkante des Rohtragwerks.

Die Horizontallast aus dem Seitenstoß beträgt $\frac{Q_{tk}}{A} = \frac{100}{0,46 \times 2,8} = 77,64 \text{ kN} / \text{m}^2$.

Die aus dem Seitenstoß entstehenden Momente sind wie folgt berücksichtigt:

$M = 100 \text{ kN} \times (0,782 \text{ m} + d/2)$ Moment infolge des Seitenstoß

Die Pressungen bzw. abhebenden Kräfte, die auf das Tragwerk wirken errechnen sich wie die der Fliehkraft.

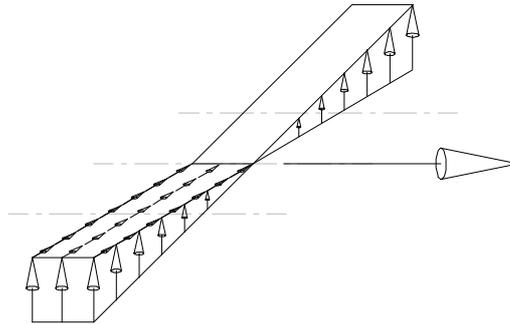


Abb. 46 Lastbild Seitenstoß - OKTW

- 2) **Seitenstoß - MTW:** Analog zum Lastbild des Seitenstoßes, ausgebreitet bis Oberkante Rohtragwerk werden die Lasten bis zur Mittelebene des Tragwerks ausgebreitet.

4. KOMBINATION FÜR TRAGSICHERHEIT (ULS)

Die Schnittkräfte infolge der charakteristischen Einwirkungen werden für die Bemessung des Tragwerkes in Kombinationen mit Teilsicherheitsbeiwerten und Kombinationsbeiwerten zusammengefasst. gemäß ÖNORM EN 1990/A1

Die Bemessung des Tragwerkes gliedert sich in die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und in die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Diese Nachweise werden mit den Bemessungswerten der verschiedenen Einwirkungskombinationen geführt. Diese ergeben sich durch Kombination der charakteristischen Werte der Einwirkung mit Hilfe von Kombinationsbeiwerten und der Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten.

Beim Grenzzustand der Tragfähigkeit sind die Kombinationen von Einwirkungen bei ständigen oder vorübergehenden Bemessungssituationen (Grundkombination, Betriebszustand) sowie die Kombinationen von Einwirkungen bei außergewöhnlichen Bemessungssituation zu berücksichtigen.

Der Bemessungswert der Einwirkung zufolge der Grundkombination wird wie folgt berechnet:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} (g_{G,j} \times G_{k,j}) + g_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (g_{Q,i} \times \gamma_{0,i} \times Q_{k,i})$$
gemäß ÖNORM EN 1990, Formel (6.10)

wobei	$g_{G,j}$	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
	$g_{G,\text{sup}} = 1,35$	ständige Einwirkungen, ungünstig wirkend
	$g_{G,\text{inf}} = 1,00$	ständige Einwirkungen, günstig wirkend
	$G_{k,j}$	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung
	$g_{Q,1}$	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen (Leiteinwirkung)
	$Q_{k,1}$	charakteristischer Wert der Leiteinwirkung
	$g_{Q,i}$	Teilsicherheitsbeiwert für eine veränderliche Einwirkungen

$g_{Q,i} = 1,45$, für ungünstige Einwirkungen infolge Schienenverkehr für die Lastgruppen 11 bis 31 (außer 16, 17, 26 und 27)

$g_{Q,i} = 1,20$, für ungünstige Einwirkungen infolge Schienenverkehr für die Lastgruppen 16, 17, 26 und 27

$g_{Q,i} = 0$, günstige wirkende Einwirkungen infolge Schienenverkehr

$g_{Q,i} = 1,50$, für andere Einwirkungen aus Verkehr und andere veränderliche Einwirkungen

$y_{0,i}$ Kombinationswert einer veränderlichen Einwirkung

$y_{0,i} = 0,8$ (konstant) für alle Lastgruppen

$y_{0,i} = 0,75$ für Wind

$y_{0,i} = 0,6$ für Temperatur

$Q_{k,i}$ charakteristischer Wert einer veränderlichen Einwirkung

ist.

Der Bemessungswert der Einwirkung zufolge der außergewöhnlichen Einwirkungskombination (Entgleisen) wird wie folgt berechnet:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (y_{1,1} \text{ oder } y_{2,1}) \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (y_{2,i} \times Q_{k,i})$$

wobei $G_{k,j}$ charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung

A_d Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung

$y_{2,1}$ Beiwert für quasi-ständige Werte der veränderlichen Einwirkungen

$y_{0,i} = 0,0$

$y_{1,1}$ Beiwert für häufige Werte der veränderlichen Einwirkungen, nur bei mehrgleisigen Brücken

$Q_{k,i}$ charakteristischer Wert einer veränderlichen Einwirkung

ist.

5. ÜBERLEGUNGEN ZUR REDUKTION DER LASTANSÄTZE

Für einfache Brückensysteme soll eine vereinfachte Schnittkraftberechnung an einem Stabmodell durchgeführt werden können. Die Schnittkraftermittlung infolge Verkehrslasten soll nur unter Heranziehen der Vertikallastanteile gemäß ÖNORM EN 1991-2 (vereinfachter Lastansatz) erfolgen, alle weiteren Lastaspekte sollen für die Berechnung vernachlässigt werden können. Sämtliche Verkehrslastanteile wie Fliehkräfte, Seitenstoß, Anfahren und Bremsen sowie die Bildung der Lastgruppen soll bei dem vereinfachten Lastansatz nicht berücksichtigt werden.

Um diesen vereinfachten Lastansatz rechtfertigen zu können, werden an Hand ausgewählter Brückensysteme mit unterschiedlichen Stützweiten und Tragwerksstärken Schnittkraftberechnungen durchgeführt. Die Berechnung der Schnittkräfte infolge Verkehrslasten erfolgt einerseits am Stabsystem mit vereinfachten Lastansätzen und zum anderen unter Berücksichtigung aller, gemäß ÖNORM EN 1991-2 erforderlichen Lastanteile am räumlichen FE Modell. Die Ergebnisse beider Rechnungen werden verglichen und ein Faktor F_1 eingeführt, der bei Multiplikation die Ergebnisse der vereinfachten Berechnung auf der sicheren Seite liegen lässt.

6. SCHNITTKRAFTBERECHNUNG (VERKEHRSLASTEN)

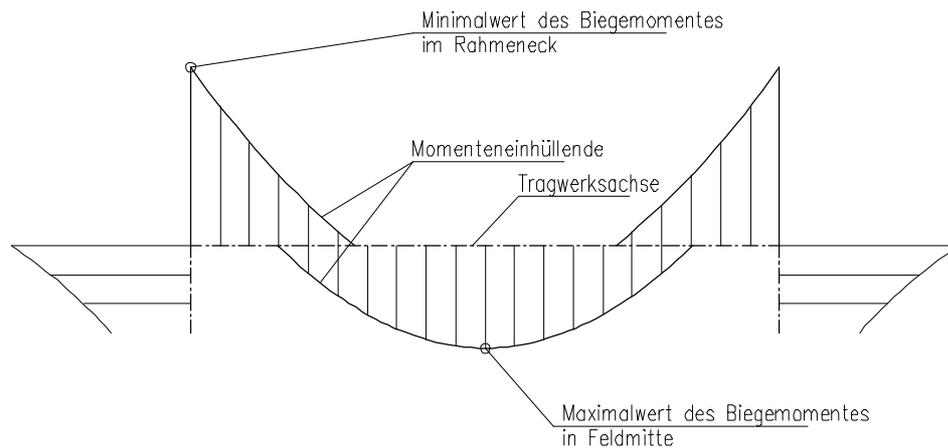
6.1. vereinfachtes System

6.1.1. Rahmen

Die Ermittlung der Schnittgrößen für definierte Nachweisstellen erfolgt durch die Bestimmung der ungünstigsten Laststellung der jeweiligen Verkehrslastmodelle (Auswertung der Lastspuren). Als Nachweisstelle wird der Rahmeneckpunkt und der Punkt in Feldmitte herangezogen. Für die Rahmeneckpunkte werden jene Lastzustände betrachtet, die die Minimalwerte (Negativwerte) der Biegemomente verursachen. Für die Punkte in Feldmitte werden jene Lastzustände betrachtet, die die Maximalwerte (Positivwerte) der Biegemomente verursachen. Für die Querkräfte werden bei allen Punkten jene Lastzustände gesucht, die die Maximalwerte verursachen.

Eine Schnittgrößenermittlung mit Einflusslinien ist für die Ermittlung der Biegemomente nicht sinnvoll, da bei einem Einfeldrahmen nur geringe negative Bereiche der Einflusslinien vorhanden sind und diese zu keinen relevanten Ergebnisänderungen führen. Für die Ermittlung der Querkraft wird ebenfalls eine Auswertung der Lastspur herangezogen, allerdings werden bei dem Lastmodell 71 zusätzliche Lastspur ausgewertet, die die Gleichlast einmal vor und hinter den Einzellasten vernachlässigt (siehe Kapitel „Veränderliche Einwirkungen“).

Biegemomentenverlauf:



Querkraftverlauf:

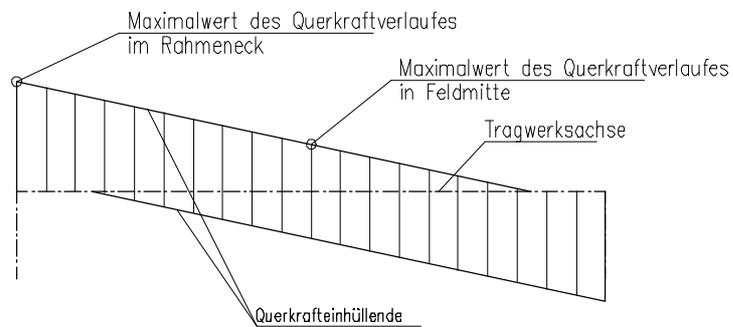


Abb. 47 Schnittkraftverläufe

6.1.2. Einfeldtragwerk

Genau wie bei den Rahmentragwerken erfolgt die Ermittlung der Schnittgrößen für definierte Nachweisstellen durch die Bestimmung der ungünstigsten Laststellung der jeweiligen Verkehrslastmodelle (Auswertung der Lastspuren). Als Nachweisstelle wird der Auflagerpunkt und der Punkt in Feldmitte herangezogen. Für die Auflagerpunkte werden jene Lastzustände betrachtet, die die Maximalwerte der Querkraft verursachen. Für die Punkte in Feldmitte werden jene Lastzustände betrachtet, die die Maximalwerte (Positivwerte) der Biegemomente verursachen.

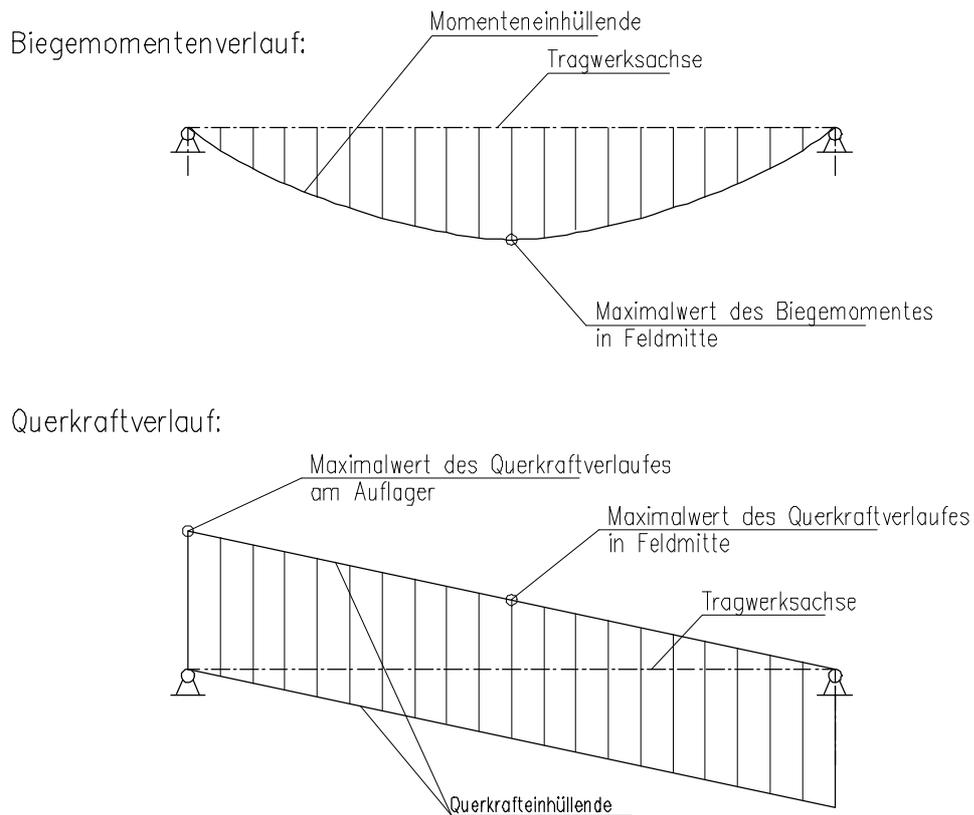


Abb. 48 Schnittkraftverläufe

6.2. genaues System

6.2.1. Rahmen

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt für die charakteristischen Werte der einzelnen äußeren Einwirkungen. Die Berücksichtigung der Kombinationsbeiwerte für die veränderlichen Einwirkungen und der Teilsicherheitsbeiwerte für sämtliche Einwirkungen wird in Abhängigkeit von der jeweiligen Einwirkungskombination im Zuge der Nachweisführung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit vorgenommen.

Die Schnittgrößen werden an definierten Nachweisstellen betrachtet, diese sind nicht unbedingt jene Stellen an denen sich die ungünstigsten Schnittgrößen ergeben. Die Nachweisstellen P 1 bis P 14 befinden sich an folgenden Stellen des Tragwerks:

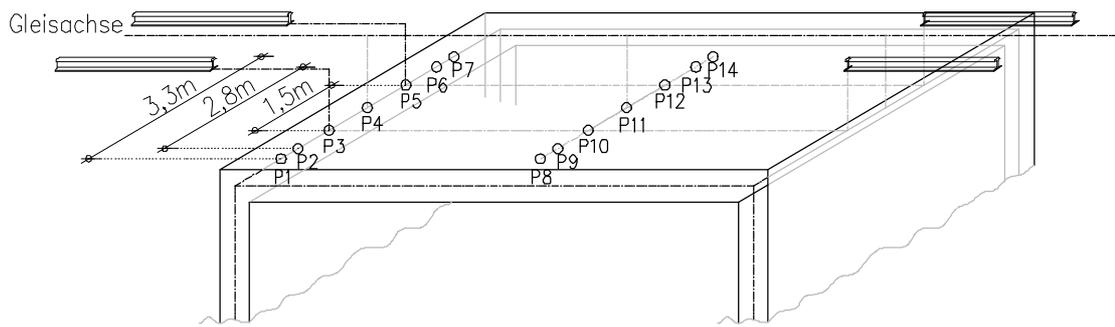


Abb. 49 Nachweisstellen Rahmentragwerk

- P 1 Rahmeneckpunkt, 1,65 m entfernt von der Gleisachse
- P 2 Rahmeneckpunkt, 1,40 m entfernt von der Gleisachse
- P 3 Rahmeneckpunkt, halbe Spurweite (75 cm) entfernt von der Gleisachse
- P 4 Rahmeneckpunkt, Gleisachse
- P 5 Rahmeneckpunkt, halbe Spurweite (75 cm) entfernt von der Gleisachse
- P 6 Rahmeneckpunkt, 1,40 m entfernt von der Gleisachse
- P 7 Rahmeneckpunkt, 1,65 m entfernt von der Gleisachse
- P 8 Punkt in Feldmitte, 1,65 m entfernt von der Gleisachse
- P 9 Punkt in Feldmitte, 1,40 m entfernt von der Gleisachse
- P 10 Punkt in Feldmitte, halbe Spurweite (75 cm) entfernt von der Gleisachse
- P 11 Punkt in Feldmitte, Gleisachse
- P 12 Punkt in Feldmitte, halbe Spurweite (75 cm) entfernt von der Gleisachse
- P 13 Punkt in Feldmitte, 1,40 m entfernt von der Gleisachse
- P 14 Punkt in Feldmitte, 1,65 m entfernt von der Gleisachse

Die Ermittlung der Schnittgrößen für definierte Nachweisstellen erfolgt durch Bestimmung jener Laststellung (Auswertung der Lastspuren), die an den Nachweisstellen die Extremwerte der Schnittgrößen verursacht. Es werden für die Rahmeneckpunkte jene Lastzustände betrachtet, die die Minimalwerte (Negativwerte) für das Biegemoment verursachen. Für die Punkte in Feldmitte werden jene Lastzustände betrachtet, die die Maximalwerte (Positivwerte) des Biegemoments verursachen.

Eine Schnittgrößenermittlung mit Einflusslinien ist nicht sinnvoll, da bei einem Einfeldrahmen nur geringe negative Bereiche der Einflusslinien vorhanden sind und diese zu keinen relevanten Ergebnisänderungen führen.

6.2.2. Einfeldtragwerk

Im ersten Schritt werden im Zuge einer vereinfachten Berechnung, die nur die Vertikalkomponenten der Verkehrslasten berücksichtigt die Schnittgrößen an definierten Stellen am Plattentragwerk bestimmt. Die Berechnung erfolgt mittels Finite Elemente Methode am Plattentragwerk. Die ungünstigsten Schnittgrößen bei den Nachweisstellen werden durch einen bewegten Lastenzug ermittelt.

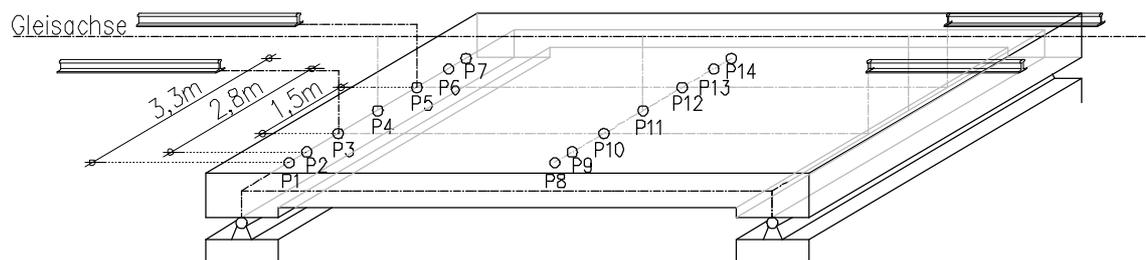


Abb. 50 Nachweisstellen Plattentragwerk

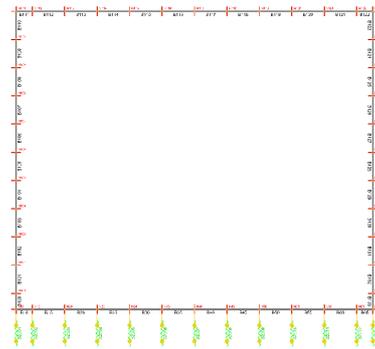
7. ERGEBNISSE EINES SYSTEMS

Stellvertreten für alle untersuchen Systeme werden in diesem Kapitel die Ergebnisse des Rahmens mit 6,0 m lichte Weite detailliert erläutert.

7.1. Vereinfachte Berechnung, Lasten verteilt bis Oberkante Tragwerk

Rechenmodell:

Rahmenbreite:	5,86 m
Rahmenlänge:	6,60 m
Rahmenhöhe:	5,60 m
Deckenstärke:	0,60 m
Wandstärke:	0,60 m
Stärke d. Bodenplatte:	0,60 m
Elastische Bettung:	10.000 kN/m ²



Schnittgrößen:

Schnittgrößen im Tragwerksriegel (Querkräfte in [kN/m]; Biegemomente in [kNm/m]) infolge der charakteristischen Werte aller Verkehrslastmodelle (LM 71, SW/0, SW/2 und „unbelasteter Zug“) in ungünstigster Laststellung angeordnet, einschließlich dynamischen Beiwertes F ($F=1,35$) für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft und den Lastklassenbeiwert α ($\alpha=1,21$).

6m	Minimales Moment (Rahmeneck)		Maximales Moment (Feldmitte)		Maximale Querkraft (Rahmeneck)	
	[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]	[kN/m]	[%]
LM71 Normlastmodell	189,4	100,0	321,4	100,0	353,9	100,0
SW/0	-157,0	-82,9	268,0	83,4	266,0	75,2
SW/2	-146,0	-77,1	250,0	77,8	248,0	70,1
unbel. Zug	-7,2	-3,8	12,3	3,8	11,8	3,3

Tab. 10 Schnittkräfte LM71, SW/0, SW/2, unbel. Zug

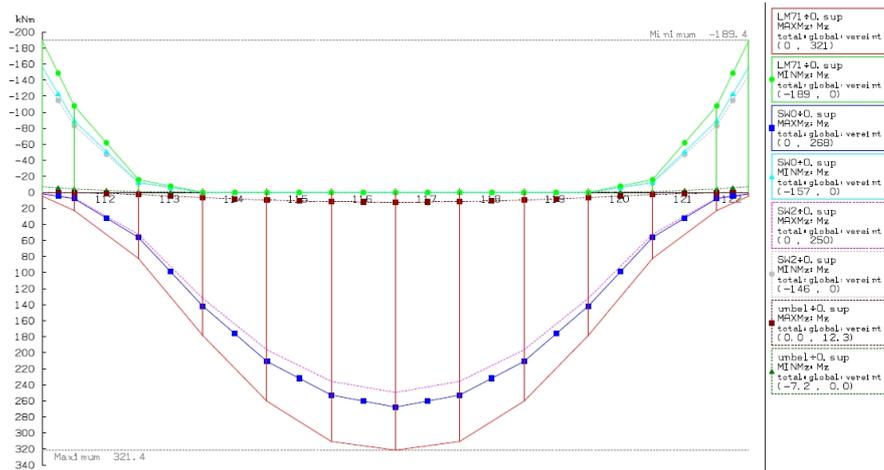


Abb. 51 Biegemomentenverläufe der Verkehrslastmodelle

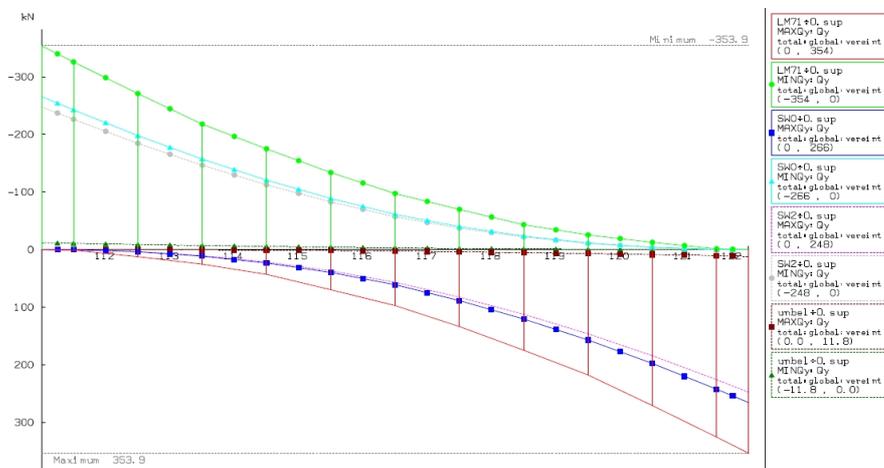


Abb. 52 Querkraftverläufe der Verkehrslastmodelle

Man erkennt an den Grafiken, dass für die Bemessung des Tragwerkriegels das Lastmodell 71 für alle Querschnitte maßgebend ist. Als Vergleichswerte werden also die Schnittgrößen dieses Lastmodells herangezogen.

Schnittgrößen Lastmodell 71:

Vergleich der Schnittgrößen im Tragwerksriegel (Querkräfte in [kN/m]; Biegemomente in [kNm/m]) infolge der charakteristischen Werte der verschiedenen verteilten Lastmodelle 71 (Normlastmodell, Federmodell und „vereinfachtes Modell“) in ungünstigster Laststellung angeordnet, einschließlich dynamischen Beiwertes F (F=1,35) für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft und den Lastklassenbeiwert α ($\alpha=1,21$).

6m	Minimale Moment (Rahmeneck)		Maximale Moment (Feldmitte)		Maximale Querkraft (Rahmeneck)	
	[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]	[kN/m]	[%]
LM71 Normlastmodell	-189,4	100,0	321,4	100,0	-353,9	100,0
LM71 Gleichlastmodell	-184,0	97,1	313,0	97,4	310,0	-87,6
LM71 Federmodell	-185,0	97,7	312,0	97,1	315,0	-89,0

Tab. 11 Schnittkräfte LM71, unterschiedliche Verteilungen

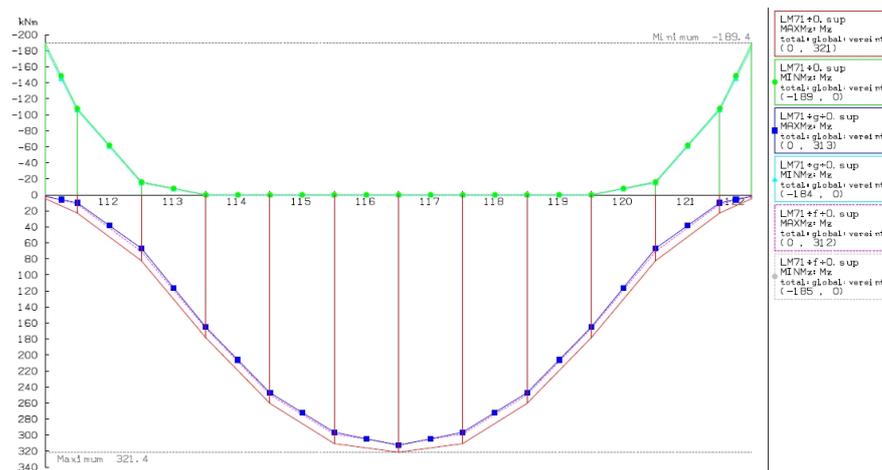


Abb. 53 Biegemomentenverläufe LM 71

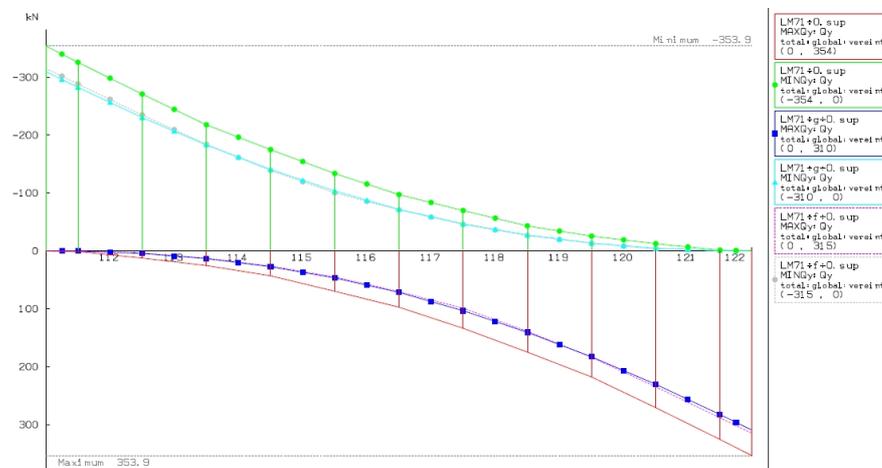
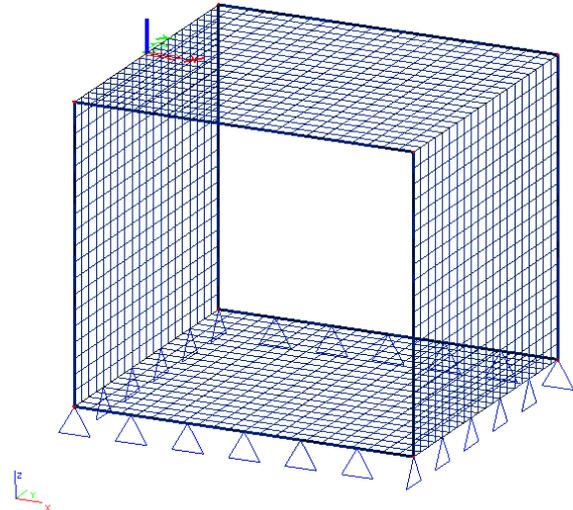


Abb. 54 Querkraftverläufe LM 71

7.2. Genaue Berechnung, Lasten verteilt bis Oberkante Tragwerk

7.2.1. Modell mit FE-Netz:

Mittlere Netzteilung:	0,30 m
Rahmenbreite:	5,86 m
Rahmenlänge:	6,60 m
Rahmenhöhe:	5,60 m
Deckenstärke:	0,60 m
Wandstärke:	0,60 m
Stärke d. Bodenplatte:	0,60 m
Bettung:	10.000 kN/m ³



7.2.2. Schnittkrafteergebnisse der einzelnen Lastanteile

LASTMODELL 71:

Biegemomente [kNm/m] der Rahmeneckpunkte infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das LM 71 (nur Vertikallasten, ohne zugehörige Zentrifugallasten) in ungünstigster Laststellung angeordnet, einschließlich dynamischen Beiwertes F ($F=1,35$) für maximale Biegung und den Lastklassenbeiwert α ($\alpha=1,21$).

6m	Rahmeneck													
	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]
LM71 OKTW							-189,3	100,0						
am 1m Streifen														
LM71 OKTW	-87,9	46,4	-96,1	50,8	-113,6	60,0	-120,6	63,7	-113,6	60,0	-96,1	50,8	-87,9	46,4
Normlastmodell														

Tab. 12 Biegemomente LM71, Rahmeneck

Querkraft [kN/m] der Rahmeneckpunkte infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das LM 71 (ohne zugehörige Zentrifugallasten) in ungünstigster Laststellung angeordnet, einschließlich dynamischen Beiwertes F ($F=1,35$) für maximale Querkraft und den Lastklassenbeiwert α ($\alpha=1,21$).

6m	Rahmeneck													
	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
	$V_{x,k}$	[%]	$V_{x,k}$	[%]	$V_{x,k}$	[%]	$V_{x,k}$	[%]	$V_{x,k}$	[%]	$V_{x,k}$	[%]	$V_{x,k}$	[%]
LM71 OKTW							353,9	100,0						
am 1m Streifen														
LM71 OKTW	160,0	46,2	198,8	56,2	277,5	78,4	300,1	84,8	277,5	78,4	198,8	56,2	160,0	45,2
Normlastmodell														

Tab. 13 Querkräfte LM71, Rahmeneck

Biegemomente [kNm/m] der Punkte in Feldmitte infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das LM 71 (ohne zugehörige Zentrifugallasten) in ungünstigster Laststellung angeordnet, einschließlich dynamischen Beiwertes F ($F=1,35$) für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft und den Lastklassenbeiwert α ($\alpha=1,21$).

6m	Feldmitte													
	P8		P9		P10		P11		P12		P13		P14	
	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]
LM71 OKTW							320,3	100,0						
am 1m Streifen														
LM71 OKTW	150,1	46,9	157,1	49,0	172,5	53,9	177,5	55,4	172,5	53,9	157,1	49,0	150,1	46,9
Normlastmodell														

Tab. 14 Biegemomente LM71, Feldmitte

Die Schnittgrößenmittlung unter Berücksichtigung der Exzentrizitäten beschränkt sich im folgenden auf das Normlastmodell des Lastmodell 71.

Für den Lastfall LM 71 in ungünstigster Laststellung angeordnet, ergeben sich mit den Eingangswerten:

$$e_{\min} = 0,108 \text{ m}$$

$$a = 1,21$$

$$f = 1,000 \text{ (Abminderungsfaktor nur für Fliehkraft)}$$

$$F = 1,35$$

die Schnittgrößen nach folgender Tabelle:

Schnittgrößen infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslasten für das LM 71 in ungünstigster Laststellung angeordnet, mit dynamischem Beiwert für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft und den Lastklassenbeiwert (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

6m	Rahmeneck Biegemomente						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
LM71 OKTW	-83,0	-91,1	-109,7	-120,6	-117,4	-101,1	-92,9
Normlastm. Exzentriz. min							

Für den Lastfall LM 71 in ungünstigster Laststellung angeordnet, ergeben sich mit den Eingangswerten:

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= 0,108 \text{ m} \\
 e'' &= \pm 0,10 \text{ m} \\
 a &= 1,21 \\
 f &= 1,000 \text{ (Abminderungsfaktor nur für Fliehkraft)} \\
 F &= 1,35
 \end{aligned}$$

die Schnittgrößen nach folgender Tabelle:

Schnittgrößen infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslasten für das LM 71 in ungünstigster Laststellung angeordnet, mit dynamischem Beiwert für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft und den Lastklassenbeiwert (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

		Rahmeneck Biegemomente						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
		$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
LM71 OKTW		-87,4	-95,2	-112,4	-121,0	-119,3	-105,4	-97,6
Normlastm. mit $e_{\min} \pm e''$								

		Rahmeneck Querkräfte						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
		$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$
LM71 OKTW		161,3	197,3	267,7	302,5	300,8	236,7	192,3
Normlastm. mit $e_{\min} \pm e''$								

		Feldmitte Biegemomente						
6m		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
		$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
LM71 OKTW		149,9	156,5	170,9	177,9	178,7	167,8	160,2
Normlastm. mit $e_{\min} \pm e''$								

Für den Lastfall LM 71 in ungünstigster Laststellung angeordnet, ergeben sich mit den Eingangswerten:

$$\begin{aligned}
 e_{\max} &= 0,274 \text{ m} \\
 e'' &= \pm 0,10 \text{ m} \\
 a &= 1,21 \\
 f &= 1,000 \text{ (Abminderungsfaktor nur für Fliehkraft)} \\
 F &= 1,35
 \end{aligned}$$

die Schnittgrößen nach folgender Tabelle:

Schnittgrößen infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslasten für das LM 71 in ungünstigster Laststellung angeordnet, mit dynamischem Beiwert für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft und den Lastklassenbeiwert (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

		Rahmeneck Biegemomente						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
		$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
LM71 OKTW		-79,5	-87,4	-64,0	-121,8	-124,7	-113,2	-105,4
Normlastm. mit $e_{max} \pm e''$								

		Rahmeneck Querkräfte						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
		$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$	$V_{x,k}$
LM71 OKTW		137,6	167,0	242,2	306,9	326,2	267,0	216,1
Normlastm. mit $e_{max} \pm e''$								

		Feldmitte Biegemomente						
6m		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
		$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
LM71 OKTW		141,9	147,7	164,9	178,7	184,7	176,5	168,2
Normlastm. mit $e_{max} \pm e''$								

Unter Berücksichtigung der Exzentrizitäten und der Änderung der Gleisachse ist aus den obigen Tabelle für das Lastmodell 71 ersichtlich, dass die grau markierten Werte maßgebend sind. Diese Werte werden also für die Bildung der Lastgruppen herangezogen.

UNBELADENER ZUG:

Schnittgrößen (Querkräfte in [kN/m]; Biegemomente in [kNm/m]) infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das Lastmodell „unbelasteter Zug“ in ungünstigster Laststellung angeordnet (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

		Rahmeneck													
6m		P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
		$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]
"unbel. Zug" OKTW								-7,2	100,0						
am 1m Streifen															
"unbel. Zug" OKTW		-3,4	47,2	-3,6	50,0	-4,2	58,3	-4,5	62,5	-4,2	58,3	-3,6	50,0	-3,4	47,2
Normlastmodell															

Tab. 15 Biegemomente „unbel. Zug“, Rahmeneck

		Rahmeneck												
6m	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]
"unbel. Zug" OKTW							11,8	100,0						
am 1m Streifen														
"unbel. Zug" OKTW	5,6	47,5	6,4	54,2	8,3	70,3	9,0	76,3	8,3	70,3	6,4	54,2	5,6	47,5
Normlastmodell														

Tab. 16 Querkräfte „unbel. Zug“, Rahmeneck

		Feldmitte												
6m	P8		P9		P10		P11		P12		P13		P14	
	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]
"unbel. Zug" OKTW							12,3	100,0						
am 1m Streifen														
"unbel. Zug" OKTW	5,8	47,2	6,0	48,8	6,3	51,2	6,5	52,8	6,3	51,2	6,0	48,8	5,8	47,2
Normlastmodell														

Tab. 17 Biegemomente „unbel. Zug“, Feldmitte

Unter Berücksichtigung der Exzentrizität ergeben sich mit folgenden Eingangswerten für den Lastfall „unbeladener Zug“ in ungünstigster Laststellung angeordnet:

$$e' = 0,191 \text{ m}$$

$$f = 1,000 \text{ (Abminderungsfaktor nur für Fliehkraft)}$$

die Schnittgrößen nach folgender Tabelle:

Schnittgrößen (Querkräfte in [kN/m]; Biegemomente in [kNm/m]) infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das Lastmodell „unbeladener Zug“ in ungünstigster Laststellung angeordnet (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

		Rahmeneck												
6m	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
	$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$	
"unbel. Zug" OKTW														
mit Exzentrizität e'	-3,0		-3,3		-4,0		-4,5		-4,5		-4,0		-3,7	

		Rahmeneck												
6m	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
	$v_{x,k}$		$v_{x,k}$		$v_{x,k}$		$v_{x,k}$		$v_{x,k}$		$v_{x,k}$		$v_{x,k}$	
"unbel. Zug" OKTW														
mit Exzentrizität e'	4,8		5,6		7,5		9,0		9,0		7,3		6,3	

		Feldmitte												
6m	P8		P9		P10		P11		P12		P13		P14	
	$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$		$m_{x,k}$	
"unbel. Zug" OKTW														
mit Exzentrizität e'	5,5		5,7		6,1		6,5		6,5		6,3		6,1	

Für den Lastfall „unbelasteter Zug“ in ungünstigster Laststellung angeordnet, ergeben sich mit den Eingangswerten:

$$e^{\prime} = 0,191 \text{ m}$$

$$e^{\prime\prime} = \pm 0,10 \text{ m}$$

$$f = 1,000 \text{ (Abminderungsfaktor nur für Fliehkraft)}$$

die Schnittgrößen nach folgender Tabelle:

Schnittgrößen (Querkräfte in [kN/m]; Biegemomente in [kNm/m]) infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das Lastmodell „unbelasteter Zug“ in ungünstigster Laststellung angeordnet (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

		Rahmeneck						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
		$m_{x,k}$						
"unbel. Zug" OKTW		-3,2	-3,5	-4,1	-4,5	-4,5	-4,1	-3,9
mit Exzentrizität $e^{\prime} \pm e^{\prime\prime}$								

		Rahmeneck						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
		$v_{x,k}$						
"unbel. Zug" OKTW		5,2	6,0	7,8	9,1	9,2	7,7	6,8
mit Exzentrizität $e^{\prime} \pm e^{\prime\prime}$								

		Feldmitte						
6m		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
		$m_{x,k}$						
"unbel. Zug" OKTW		5,6	5,8	6,2	6,5	6,6	6,4	6,3
mit Exzentrizität $e^{\prime} \pm e^{\prime\prime}$								

Unter Berücksichtigung der Exzentrizitäten und der Änderung der Gleisachse ist aus den obigen Tabellen für den unbelasteten Zug ersichtlich, dass die grau markierten Werte maßgebend sind. Diese Werte werden also für die Bildung der Lastgruppen herangezogen.

LASTMODELL SW/2:

Schnittgrößen (Querkräfte in [kN/m]; Biegemomente in [kNm/m]) infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das Lastmodell SW/2 in ungünstigster Laststellung angeordnet, einschließlich dynamischen Beiwertes ($F=1,35$) für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

6m	Rahmeneck													
	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]
SW/2 OKTW														
am 1m Streifen							-147,8	100,0						
SW/2 OKTW	-67,8	45,9	-73,6	49,8	-85,4	57,8	-90,7	61,4	-85,4	57,8	-73,6	49,8	-67,8	45,9
Normlastmodell														

Tab. 18 Biegemomente „SW/2“, Rahmeneck

6m	Rahmeneck													
	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7	
	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]	$v_{x,k}$	[%]
SW/2 OKTW														
am 1m Streifen							276,4	100,0						
SW/2 OKTW	112,6	40,7	130,0	47,0	167,5	60,6	182,1	65,9	167,5	60,6	130,0	47,0	112,6	40,7
Normlastmodell														

Tab. 19 Querkräfte „SW/2“, Rahmeneck

6m	Feldmitte													
	P8		P9		P10		P11		P12		P13		P14	
	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]	$m_{x,k}$	[%]
SW/2 OKTW														
am 1m Streifen							256,5	100,0						
SW/2 OKTW	117,1	45,7	120,5	47,0	128,1	49,9	131,5	51,3	128,1	49,9	120,5	47,0	117,1	45,7
Normlastmodell														

Tab. 20 Biegemomente „SW/2“, Feldmitte

Unter Berücksichtigung der Exzentrizität ergeben sich mit folgenden Eingangswerten für den Lastfall SW/2 in ungünstigster Laststellung angeordnet:

$$e_{\min} = 0,191 \text{ m}$$

$$f = 1,000 \text{ (Abminderungsfaktor nur für Fliehkraft)}$$

$$F = 1,35$$

die Schnittgrößen nach folgender Tabelle:

Schnittgrößen (Querkräfte in [kN/m]; Biegemomente in [kNm/m]) infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das Lastmodell SW/2 in ungünstigster Laststellung angeordnet, einschließlich dynamischen Beiwertes ($F=1,35$) für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

		Rahmeneck						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$m_{x,k}$							
SW/2 OKTW		-61,1	-67,1	-80,8	-90,7	-90,1	-80,2	-74,5
mit Exzentrizität e'								

		Rahmeneck						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$v_{x,k}$							
SW/2 OKTW		97,7	113,0	115,2	182,1	182,8	147,0	7,5
mit Exzentrizität e'								

		Feldmitte						
6m		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
	$m_{x,k}$							
SW/2 OKTW		110,8	114,5	124,1	131,5	132,1	126,6	123,5
mit Exzentrizität e'								

Für den Lastfall SW/2 in ungünstigster Laststellung angeordnet, ergeben sich mit den Eingangswerten:

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= 0,191 \text{ m} \\
 e'' &= \pm 0,10 \text{ m} \\
 f &= 1,000 \text{ (Abminderungsfaktor nur für Fliehkraft)} \\
 F &= 1,35
 \end{aligned}$$

die Schnittgrößen nach folgender Tabelle:

Schnittgrößen (Querkräfte in [kN/m]; Biegemomente in [kNm/m]) infolge der charakteristischen Werte der Verkehrslast für das Lastmodell SW/2 in ungünstigster Laststellung angeordnet, einschließlich dynamischen Beiwertes ($F=1,35$) für maximale Biegung sowie für maximale Querkraft (ohne zugehörige Zentrifugallasten).

		Rahmeneck						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$m_{x,k}$							
SW/2 OKTW		-64,4	-70,2	-82,9	-91,2	-91,5	-83,0	-78,0
mit Exzentrizität $e' \pm e''$								

		Rahmeneck						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$v_{x,k}$							
SW/2 OKTW		105,1	120,6	158,0	184,3	185,6	156,0	137,0
mit Exzentrizität $e' \pm e''$								

	Feldmitte						
6m	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
	$m_{x,k}$						
SW/2 _{OKTW} mit Exzentrizität $e^+ \pm e^-$	114,0	117,5	126,0	131,8	133,5	129,6	126,9

Unter Berücksichtigung der Exzentrizitäten und der Änderung der Gleisachse ist aus den obigen Tabellen für das Lastmodell SW/2 ersichtlich, dass die grau markierten Werte maßgebend sind. Diese Werte werden also für die Bildung der Lastgruppen herangezogen.

Genauso wie bei der vereinfachten Berechnung am Stabwerksmodell sind hier für den Vertikallastanteil die Werte des Lastmodells 71 die maßgebenden.

SEITENSTOSS:

Mit den Eingangswerten:

$$Q_{sk} = \pm 100 \text{ kN}$$

$$a = 1,21 \text{ nur für LM 71, noch nicht in der Tabelle enthalten}$$

$$e_z = 1,082 \text{ m Hebelarm des Seitenstoß bei der Schnittkraftermittlung}$$

ergeben sich folgende Schnittgrößen.

Schnittgrößen infolge der charakteristischen Werte des Seitenstoßes

	Rahmeneck						
6m	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$m_{x,k}$						
Seitenstoß _{OKTW}	±10,2	±8,7	±3,9	±0,0	±3,9	±8,7	±10,2

	Rahmeneck						
6m	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$v_{x,k}$						
Seitenstoß _{OKTW}	±15,6	±28,0	±34,6	±0,0	±34,6	±28,0	±15,6

	Feldmitte						
6m	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
	$m_{x,k}$						
Seitenstoß _{OKTW}	±9,4	±10,9	±9,6	±0,0	±9,6	±10,9	±9,4

Unter Berücksichtigung von e^{\pm} , der Gleislageänderung von $\pm 0,1$ m ergeben sich folgende Schnittgrößen infolge der charakteristischen Werte des Seitenstoßes.

		Rahmeneck					
6m	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$m_{x,k}$						
Seitenstoß _{OKTW}	±10,0	±8,3	±4,0	±0,2	±4,0	±8,3	±10,0
± e [∞]							

		Rahmeneck					
6m	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$v_{x,k}$						
Seitenstoß _{OKTW}	±19,9	±32,2	±31,2	±5,6	±31,2	±32,2	±19,9
± e [∞]							

		Feldmitte					
6m	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
	$m_{x,k}$						
Seitenstoß _{OKTW}	±10,0	±11,5	±8,8	±1,3	±8,8	±11,5	±10,0
± e [∞]							

Für die Bildung der Lastgruppen müssen jene Werte herangezogen werden, die zu den Vertikallasten zugehörig sind, also hier e^{∞} berücksichtigen. Ausgenommen davon ist die Bildung der Lastgruppe 14 (gr 14), da bei dieser der Seitenstoß bzw. die Fliehkraft als führend berücksichtigt werden.

EINWIRKUNGEN AUS BREMSEN UND ANFAHREN:

Schnittgrößen infolge der charakteristischen Werte der Anfahr- und Bremskräfte, einschließlich des Abminderungsfaktors ξ ($\xi=0,6$). Noch nicht in der Tabelle berücksichtigt ist der Klassifizierungsfaktor a , der für das Lastmodell 71 anzuwenden ist.

		Rahmeneck					
6m	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$m_{x,k}$						
Anfahren _{OKTW}	±32,8	±33,0	±33,0	±33,0	±33,0	±33,0	±32,8
Bremsen _{OKTW} infolge LM71	±19,9	±20,0	±20,0	±20,0	±20,0	±20,0	±19,9
Bremsen _{OKTW} infolge SW/2	±34,8	±35,0	±35,0	±34,9	±35,0	±35,0	±34,8

		Rahmeneck					
6m	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$v_{x,k}$						
Anfahren _{OKTW}	±13,3	±12,7	±11,5	±11,0	±11,5	±12,7	±13,3
Bremsen _{OKTW} infolge LM71	±8,1	±7,7	±7,0	±6,7	±7,0	±7,7	±8,1
Bremsen _{OKTW} infolge SW/2	±14,1	±13,4	±12,2	±11,6	±12,2	±13,4	±14,1

6m	Feldmitte						
	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
Anfahren _{OKTW}	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0
Bremsen _{OKTW} infolge LM71	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0
Bremsen _{OKTW} infolge SW/2	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0

Unter Berücksichtigung von e'' , der Gleislageänderung von $\pm 0,1$ m ergeben sich folgende Schnittgrößen infolge der charakteristischen Werte der Anfahr- und Bremskräfte, einschließlich des Abminderungsfaktors ξ ($\xi=0,6$). Noch nicht in der Tabelle berücksichtigt ist der Klassifizierungsfaktor a , der für das Lastmodell 71 anzuwenden ist.

6m	Rahmeneck						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
Anfahren _{OKTW} $\pm e''$	±33,2	±33,3	±33,2	±32,9	±33,2	±33,3	±33,2
Bremsen _{OKTW} infolge LM71 $\pm e''$	±20,1	±20,2	±20,1	±20,0	±20,1	±20,2	±20,1
Bremsen _{OKTW} infolge SW/2 $\pm e''$	±35,2	±35,3	±35,2	±34,9	±35,2	±35,3	±35,2

6m	Rahmeneck						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$
Anfahren _{OKTW} $\pm e''$	±13,5	±12,8	±11,5	±11,0	±11,5	±12,8	±13,5
Bremsen _{OKTW} infolge LM71 $\pm e''$	±8,2	±7,8	±7,0	±6,7	±7,0	±7,8	±8,2
Bremsen _{OKTW} infolge SW/2 $\pm e''$	±14,4	±13,6	±12,2	±11,6	±12,2	±13,6	±14,4

6m	Feldmitte						
	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
Anfahren _{OKTW} $\pm e''$	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0
Bremsen _{OKTW} infolge LM71 $\pm e''$	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0
Bremsen _{OKTW} infolge SW/2 $\pm e''$	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0

Für die Bildung der Lastgruppen müssen jene Werte herangezogen werden, die zu den Vertikallasten zugehörig sind, also hier e'' berücksichtigen. Ausgenommen davon ist die Bildung der Lastgruppe 13 (gr 13), da bei dieser Anfahren und Bremsen als führend berücksichtigt werden.

ZENTRIFUGALLASTEN:

Schnittkräfte infolge der charakteristischen Werte der, zur Vertikallast zugehörigen Zentrifugallasten der Verkehrslastmodelle einschließlich den Lastklassenbeiwertes α und den Abminderungsfaktors f .

6m	Rahmeneck						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$m_{x,k}$						
Fliehkraft LM71, $\alpha=1,21$, $v=120\text{km/h}$	-14,7	-14,5	-12,0	0,0	12,0	14,5	14,7
Fliehkraft SW/2	-11,5	-11,6	-8,6	0,0	8,6	11,6	11,5
Fliehkraft „unbelasteter Zug“	-0,8	-0,8	-0,6	0,0	0,6	0,8	0,8

6m	Rahmeneck						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$v_{x,k}$						
Fliehkraft LM71, $\alpha=1,21$, $v=120\text{km/h}$	51,7	69,6	71,6	0,0	-71,6	-69,6	-51,7
Fliehkraft SW/2	29,2	33,4	30,3	0,0	-30,3	-33,4	-29,2
Fliehkraft „unbelasteter Zug“	1,9	2,2	2,0	0,0	-2,0	-2,2	-1,9

6m	Feldmitte						
	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
	$m_{x,k}$						
Fliehkraft LM71, $\alpha=1,21$, $v=120\text{km/h}$	18,2	19,9	15,3	0,0	-15,3	-19,9	-18,2
Fliehkraft SW/2	13,1	12,4	8,3	0,0	-8,3	-12,4	-13,1
Fliehkraft „unbelasteter Zug“	0,9	0,8	0,6	0,0	-0,6	-0,8	-0,9

Die hier angegebenen Schnittgrößen sind jenen ungünstigen Laststellungen der Vertikalkomponenten zugrunde gelegt, die die ungünstigsten Schnittgrößen an den Nachweisstellen verursachen. Die Schnittgrößen sind stets mit den Vertikallasten des Lastmodells LM 71, SW/2 bzw. „unbelasteter Zug“ zu kombinieren.

Unter Berücksichtigung von e'' , der Gleislageänderung von $\pm 0,1$ m ergeben sich folgende Schnittgrößen infolge der charakteristischen Werte der, zur Vertikallast zugehörigen Zentrifugallasten der Verkehrslastmodelle einschließlich den Lastklassenbeiwertes α und den Abminderungsfaktors f .

		Rahmeneck						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
Fliehkraft	LM71, $\alpha=1,21 \pm e''$	-15,2	-14,7	-10,7	1,8	10,7	14,7	15,2
Fliehkraft	SW/2 $\pm e''$	-11,9	-11,7	-7,8	1,2	7,8	11,7	11,9
Fliehkraft	"unbelastener Zug" $\pm e''$	-0,8	-0,8	-0,5	-0,1	0,5	0,8	0,8

		Rahmeneck						
6m		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$	$v_{x,k}$
Fliehkraft	LM71, $\alpha=1,21 \pm e''$	52,8	68,1	57,8	-10,2	-69,6	0,0	0,0
Fliehkraft	SW/2 $\pm e''$	31,2	34,8	27,4	-4,9	-27,4	-34,8	-31,2
Fliehkraft	"unbelastener Zug" $\pm e''$	2,1	2,3	1,8	-0,3	-1,8	-2,3	-2,1

		Feldmitte						
6m		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$	$m_{x,k}$
Fliehkraft	LM71, $\alpha=1,21 \pm e''$	18,9	20,5	14,0	-1,8	-16,3	0,0	0,0
Fliehkraft	SW/2 $\pm e''$	13,3	12,5	7,7	-0,8	-7,7	-12,5	-13,3
Fliehkraft	"unbelastener Zug" $\pm e''$	0,9	0,8	0,5	-0,1	-0,5	-0,8	-0,9

Für die Bildung der Lastgruppen müssen jene Werte herangezogen werden, die zu den Vertikallasten zugehörig sind, also hier e'' berücksichtigen. Ausgenommen davon ist die Bildung der Lastgruppe 14 (gr 14), da bei dieser der Seitenstoß bzw. die Fliehkraft als führend berücksichtigt werden.

7.2.3. Bildung der Verkehrslastgruppen für die Biegemomente

Die Verkehrslastgruppe setzt sich aus den Vertikallastanteil, den Anteilen aus Anfahren und Bremsen, aus Fliehkraft und den Anteil aus Seitenstoß zusammen. Jeder einzelne Anteil wird in einer der Gruppen als führend berücksichtigt, wobei die jeweils anderen Anteile im ungünstigen Fall mit einem Faktor multipliziert und addiert werden.

Vertikallastanteil:

		Vertikallastanteil [kNm/m]													
gr 11	LM71	P1	-87,4	P2	-95,2	P3	-112,4	P4	-121,8	P5	-124,7	P6	-113,2	P7	-105,4
		P8	149,9	P9	156,5	P10	170,9	P11	178,7	P12	184,7	P13	176,5	P14	168,2
gr 12	LM71	P1	-87,4	P2	-95,2	P3	-112,4	P4	-121,8	P5	-124,7	P6	-113,2	P7	-105,4
		P8	149,9	P9	156,5	P10	170,9	P11	178,7	P12	184,7	P13	176,5	P14	168,2
gr 13	LM71	P1	-87,4	P2	-95,2	P3	-112,4	P4	-121,8	P5	-124,7	P6	-113,2	P7	-105,4
		P8	149,9	P9	156,5	P10	170,9	P11	178,7	P12	184,7	P13	176,5	P14	168,2
gr 14	LM71	P1	-87,4	P2	-91,1	P3	-109,7	P4	-121,8	P5	-124,7	P6	-108,8	P7	-100,5
		P8	149,9	P9	156,5	P10	168,2	P11	178,7	P12	183,3	P13	176,5	P14	168,2
gr 15	unbel	P1	-3,2	P2	-3,5	P3	-4,1	P4	-4,5	P5	-4,5	P6	-4,1	P7	-3,9
		P8	5,6	P9	5,8	P10	6,2	P11	6,5	P12	6,6	P13	6,4	P14	6,3
gr 16	SW/2	P1	-64,4	P2	-70,2	P3	-82,9	P4	-91,2	P5	-91,5	P6	-83,0	P7	-78,0
		P8	114,0	P9	117,5	P10	126,0	P11	131,8	P12	133,5	P13	129,6	P14	126,9
gr 17	SW/2	P1	-64,4	P2	-70,2	P3	-82,9	P4	-91,2	P5	-91,5	P6	-83,0	P7	-78,0
		P8	114,0	P9	117,5	P10	126,0	P11	131,8	P12	133,5	P13	129,6	P14	126,9

führende Einwirkung
(grau hinterlegt)

Lastgruppe

Multiplikationsfaktor

Anteil aus Anfahren und Bremsen:

		Anfahren Bremsen [kNm/m]													
gr 11	1	P1	-40,2	P2	-40,3	P3	-40,2	P4	-39,8	P5	-40,2	P6	-40,3	P7	-40,2
		P8	0,0	P9	0,0	P10	0,0	P11	0,0	P12	0,0	P13	0,0	P14	0,0
gr 12	0,5	P1	-40,2	P2	-40,3	P3	-40,2	P4	-39,8	P5	-40,2	P6	-40,3	P7	-40,2
		P8	0,0	P9	0,0	P10	0,0	P11	0,0	P12	0,0	P13	0,0	P14	0,0
gr 13	1	P1	-40,2	P2	-40,3	P3	-40,2	P4	-39,8	P5	-40,2	P6	-40,3	P7	-40,2
		P8	0,0	P9	0,0	P10	0,0	P11	0,0	P12	0,0	P13	0,0	P14	0,0
gr 14	0,5	P1	-40,2	P2	-39,9	P3	-39,9	P4	-39,8	P5	-40,2	P6	-39,9	P7	-39,7
		P8	0,0	P9	0,0	P10	0,0	P11	0,0	P12	0,0	P13	0,0	P14	0,0
gr 15															
gr 16	1	P1	-35,2	P2	-35,3	P3	-35,2	P4	-34,9	P5	-35,2	P6	-35,3	P7	-35,3
		P8	0,0	P9	0,0	P10	0,0	P11	0,0	P12	0,0	P13	0,0	P14	0,0
gr 17	0,5	P1	-35,2	P2	-35,3	P3	-35,2	P4	-34,9	P5	-35,2	P6	-35,3	P7	-35,3
		P8	0,0	P9	0,0	P10	0,0	P11	0,0	P12	0,0	P13	0,0	P14	0,0

Anteil aus Fliehkraft:

		Fliehkraft [kNm/m]													
gr 11	0,5	P1	-15,2	P2	-14,2	P3	-10,7	P4	-	P5	-	P6	-	P7	-
		P8	18,9	P9	20,5	P10	14,0	P11	-	P12	-	P13	-	P14	-
gr 12	1	P1	-15,2	P2	-14,2	P3	-10,7	P4	-	P5	-	P6	-	P7	-
		P8	18,9	P9	20,5	P10	14,0	P11	-	P12	-	P13	-	P14	-
gr 13	0,5	P1	-15,2	P2	-14,2	P3	-10,7	P4	-	P5	-	P6	-	P7	-
		P8	18,9	P9	20,5	P10	14,0	P11	-	P12	-	P13	-	P14	-
gr 14	1	P1	-15,2	P2	-14,5	P3	-12,0	P4	-	P5	-	P6	-	P7	-
		P8	18,9	P9	20,5	P10	15,3	P11	-	P12	-	P13	-	P14	-
gr 15	1	P1	-0,8	P2	-0,8	P3	-0,5	P4	-	P5	-	P6	-	P7	-
		P8	0,9	P9	0,8	P10	0,5	P11	-	P12	-	P13	-	P14	-
gr 16	0,5	P1	-11,9	P2	-14,7	P3	-10,7	P4	-	P5	-	P6	-	P7	-
		P8	13,3	P9	12,5	P10	7,7	P11	-	P12	-	P13	-	P14	-
gr 17	1	P1	-11,9	P2	-14,7	P3	-10,7	P4	-	P5	-	P6	-	P7	-
		P8	13,3	P9	12,5	P10	7,7	P11	-	P12	-	P13	-	P14	-

Anteil aus Seitenstoß:

		Seitenstoß [kNm/m]													
gr 11	0,5	P1	-12,1	P2	-10,0	P3	-4,8	P4	-0,2	P5	-4,8	P6	-10,0	P7	-12,1
		P8	12,1	P9	13,9	P10	10,6	P11	1,6	P12	10,6	P13	13,9	P14	12,1
gr 12	1	P1	-12,1	P2	-10,0	P3	-4,8	P4	-0,2	P5	-4,8	P6	-10,0	P7	-12,1
		P8	12,1	P9	13,9	P10	10,6	P11	1,6	P12	10,6	P13	13,9	P14	12,1
gr 13	0,5	P1	-12,1	P2	-10,0	P3	-4,8	P4	-0,2	P5	-4,8	P6	-10,0	P7	-12,1
		P8	12,1	P9	13,9	P10	10,6	P11	1,6	P12	10,6	P13	13,9	P14	12,1
gr 14	1	P1	-12,1	P2	-10,5	P3	-4,7	P4	-0,2	P5	-4,8	P6	-10,5	P7	-12,3
		P8	12,1	P9	13,9	P10	11,6	P11	1,6	P12	11,6	P13	13,9	P14	12,1
gr 15	1	P1	-10,0	P2	-8,3	P3	-4,0	P4	-0,2	P5	-4,0	P6	-8,3	P7	-10,0
		P8	10,0	P9	11,5	P10	8,8	P11	1,3	P12	8,8	P13	11,5	P14	10,0
gr 16	0,5	P1	-10,0	P2	-8,3	P3	-4,0	P4	-0,2	P5	-4,0	P6	-8,3	P7	-10,0
		P8	10,0	P9	11,5	P10	8,8	P11	1,3	P12	8,8	P13	11,5	P14	10,0
gr 17	1	P1	-10,0	P2	-8,3	P3	-4,0	P4	-0,2	P5	-4,0	P6	-8,3	P7	-10,0
		P8	10,0	P9	11,5	P10	8,8	P11	1,3	P12	8,8	P13	11,5	P14	10,0

Ergebnis der Lastgruppenbildung:

		Ergebnis (Gruppe) [kNm/m]												
gr 11	P1	-141,2	P2	-147,6	P3	-160,3	P4	-161,7	P5	-167,3	P6	-158,5	P7	-151,6
	P4	165,4	P9	173,7	P10	183,2	P11	179,5	P12	190,0	P13	183,5	P14	174,3
gr 12	P1	-134,8	P2	-139,6	P3	-148,0	P4	-141,9	P5	-149,6	P6	-143,4	P7	-137,6
	P4	180,9	P9	190,9	P10	195,5	P11	180,3	P12	195,3	P13	190,4	P14	180,3
gr 13	P1	-141,2	P2	-147,6	P3	-160,3	P4	-161,7	P5	-167,3	P6	-158,5	P7	-151,6
	P4	165,4	P9	173,7	P10	183,2	P11	179,5	P12	190,0	P13	183,5	P14	174,3
gr 14	P1	-134,8	P2	-136,1	P3	-146,4	P4	-141,9	P5	-149,6	P6	-139,3	P7	-132,7
	P4	180,9	P9	190,9	P10	195,1	P11	180,3	P12	194,9	P13	190,4	P14	180,3
gr 15	P1	-14,0	P2	-12,6	P3	-8,6	P4	-4,7	P5	-8,5	P6	-12,4	P7	-13,9
	P4	16,5	P9	18,1	P10	15,5	P11	7,8	P12	15,4	P13	17,9	P14	16,3
gr 16	P1	-110,6	P2	-117,0	P3	-125,5	P4	-126,2	P5	-128,7	P6	-122,5	P7	-118,3
	P4	125,7	P9	129,5	P10	134,3	P11	132,5	P12	137,9	P13	135,4	P14	131,9
gr 17	P1	-103,9	P2	-110,9	P3	-115,2	P4	-108,9	P5	-113,1	P6	-109,0	P7	-105,6
	P4	137,3	P9	141,5	P10	142,5	P11	133,1	P12	142,3	P13	141,1	P14	136,9

Der für die jeweilige Nachweisstelle maßgebende Punkt ist fett gedruckt.

Grau hinterlegte Felder bezeichnen jene maßgebenden Stellen, die für den Vergleich mit der vereinfachten Berechnung herangezogen werden.

Tab. 21 Ergebnis der Lastgruppen

7.3. Vergleich der vereinfachten Stabwerksberechnung mit der genauen räumlichen Berechnung

Vergleicht man die maßgebenden Ergebnisse der Lastgruppen mit den Ergebnissen der vereinfachten Berechnung am ebenen Stabwerksmodell ohne Berücksichtigung irgendwelcher Horizontalanteile der Lasten so erkennt man, dass die Biegemomente der Lastgruppen trotz der Berücksichtigung aller Horizontallasten noch geringer sind als jene maßgebenden Ergebnisse am Stabwerksmodell. Mit der Stabwerksberechnung liegt man in diesem Fall auf der sicheren Seite. Für den Vergleich werden die Werte mit den Sicherheitsbeiwert $g_{Q,1} = 1,45$ multipliziert.

Ergebnisse der Biegemomente im Rahmeneck					
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	ebene Berechnung $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	räumliche Berechnung m_x [kNm/m]
6,0	1,45	1,21	1,35	-274,6	-242,6

Tab. 22 Vergleich der Biegemomente, Rahmeneck

Ergebnisse der Biegemomente in Feldmitte					
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	ebene Berechnung $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	räumliche Berechnung m_x [kNm/m]
6,0	1,45	1,21	1,35	466,0	283,5

Tab. 23 Vergleich der Biegemomente, Feldmitte

8. VERGLEICH DER SCHNITTKRÄFTE

Es werden hier jene Schnittkräfte aus der „vereinfachten Berechnung“ mit jenen aus der „genauen Berechnung“ verglichen, dies ist deshalb möglich, weil bei beiden Berechnungen die ermittelten Schnittkräfte auf einem Meter bezogen sind. Bei dem ebenen Stabmodell ist das aufgrund der Querschnittsbreite mit einem Meter der Fall, bei dem räumlichen Plattenmodell werden die Schnittkräfte auf einem Meter bezogen. Die Einheiten der zu vergleichenden Querkkräfte [kN/m] und Biegemomente [kNm/m] sind demnach gleich.

Bei der räumlichen Berechnung wird als Vergleichswert jene Schnittkraft herangezogen, die über den gesamten Brückenquerschnitt gesehen die maßgebende, also die ungünstigste Schnittkraft ist. Für den Vergleich der Schnittkräfte im Rahmeneck bzw. beim Auflager wird somit der Maximal- bzw. Minimalwert der Punkte P1 bis P7 herangezogen. In Feldmitte wird der Maximal- bzw. Minimalwert der Punkte P8 bis P14 herangezogen.

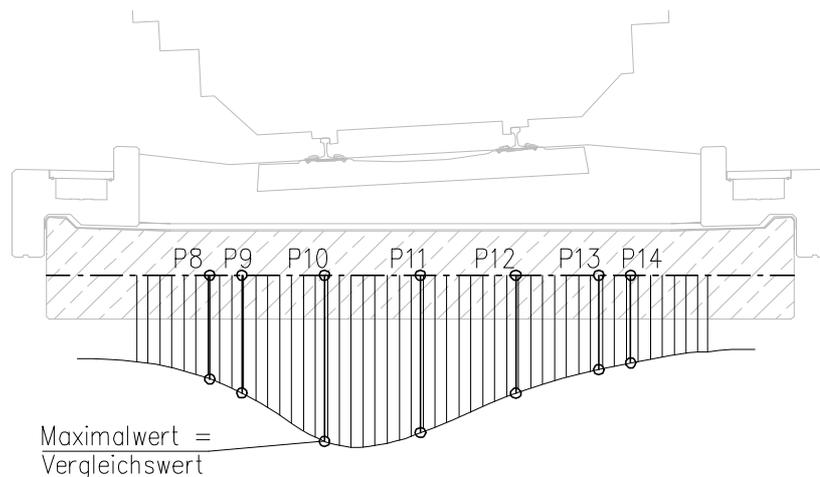


Abb. 55 Vergleichswert

8.1. Rahmenbauwerk

Vergleicht man die Ergebnisse der vereinfachten Berechnung des ebenen Rahmens, in der nur die maßgebenden Vertikallasten (für Biegemomente und Querkräfte immer Lastmodell 71, siehe Ergebnisse im Anhang) ohne räumliche Aspekte und ohne Bildung der Verkehrslastgruppen berücksichtigt sind, mit denen der genauen Berechnung des räumlichen Finite Elemente Schalenmodells, ergibt sich folgende in der Tabelle zusammengefasste Differenz. Die genaue Berechnung beinhaltet alle räumlichen Aspekte (Seitenstoß, Fliehkräfte und Exzentrizitäten) sowie die Bildung der Verkehrslastgruppen die die ÖN EN 1991-2 vorsieht.

Die Differenz der beiden Ergebnisse führt zu dem Faktor F1.

Last verteilt bis Oberseite des Tragwerks:

Ergebnisse der Biegemomente im Rahmeneck						
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	ebene Berechnung $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	räumliche Berechnung m_x [kNm/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	-83,7	-96,4	1,15
6,0	1,45	1,21	1,35	-274,6	-242,6	0,88
9,0	1,45	1,21	1,30	-634,7	-437,6	0,69
12,0	1,45	1,21	1,26	-1054,6	-681,9	0,65
15,0	1,45	1,21	1,24	-1518,2	-952,4	0,63

Tab. 24 Vergleich der Biegemomente im Rahmeneck

Ergebnisse der Biegemomente in Feldmitte						
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	ebene Berechnung $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	räumliche Berechnung m_x [kNm/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	158,1	132,4	0,84
6,0	1,45	1,21	1,35	466,0	283,5	0,61
9,0	1,45	1,21	1,30	826,1	443,3	0,54
12,0	1,45	1,21	1,26	1250,0	653,7	0,52
15,0	1,45	1,21	1,24	1783,9	894,9	0,50

Tab. 25 Vergleich der Biegemomente in Feldmitte

Ergebnisse der Querkräfte im Rahmeneck						
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	ebene Berechnung $v_{x, LM71}$ [kN/m]	räumliche Berechnung v_x [kN/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	345,1	452,5	1,31
6,0	1,45	1,21	1,35	513,2	550,3	1,07
9,0	1,45	1,21	1,30	653,2	594,8	0,91
12,0	1,45	1,21	1,26	762,6	635,8	0,83
15,0	1,45	1,21	1,24	866,4	675,3	0,78

Tab. 26 Vergleich der Querkräfte im Rahmeneck

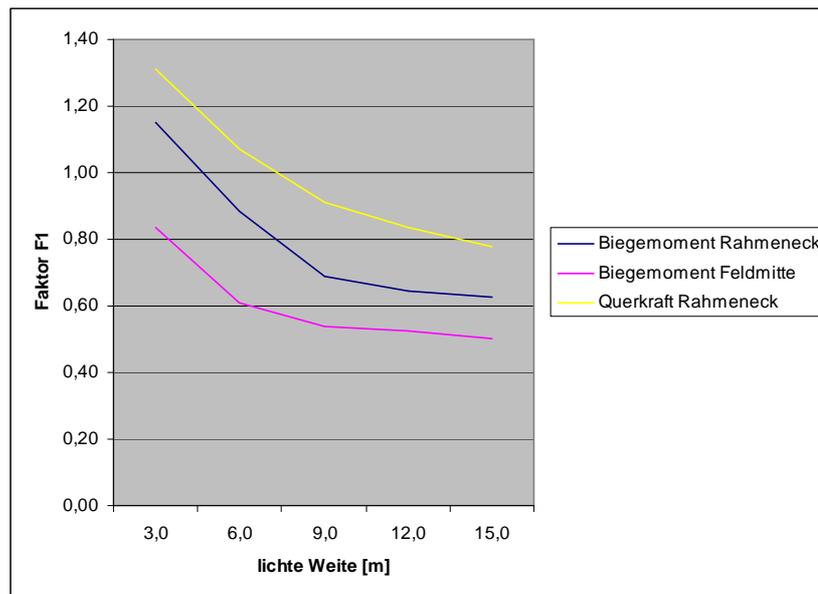


Abb. 56 Faktor F1 für Rahmen mit Lastverteilung bis Tragwerksoberseite

Last verteilt bis Mittelebene des Tragwerks:

Ergebnisse der Biegemomente im Rahmeneck						
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	ebene Berechnung $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	räumliche Berechnung m_x [kNm/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	-72,6	-87,3	1,20
6,0	1,45	1,21	1,35	-223,0	-228,1	1,02
9,0	1,45	1,21	1,30	-490,1	-425,4	0,87
12,0	1,45	1,21	1,26	-774,2	-673,5	0,87
15,0	1,45	1,21	1,24	-1041,1	-940,8	0,90

Tab. 27 Vergleich der Biegemomente im Rahmeneck

Ergebnisse der Biegemomente in Feldmitte						
Lichte Weite [m]	γ_a	α	Φ	ebene Berechnung $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	räumliche Berechnung m_x [kNm/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	129,8	111,4	0,86
6,0	1,45	1,21	1,35	374,4	259,7	0,69
9,0	1,45	1,21	1,30	632,8	428,8	0,68
12,0	1,45	1,21	1,26	912,2	633,2	0,69
15,0	1,45	1,21	1,24	1224,5	886,8	0,72

Tab. 28 Vergleich der Biegemomente in Feldmitte

Ergebnisse der Querkräfte im Rahmeneck						
Lichte Weite [m]	γ_a	α	Φ	ebene Berechnung $v_{x, LM71}$ [kN/m]	räumliche Berechnung v_x [kN/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	266,8	332,2	1,25
6,0	1,45	1,21	1,35	388,9	392,2	1,01
9,0	1,45	1,21	1,30	473,9	434,4	0,92
12,0	1,45	1,21	1,26	526,6	480,4	0,91
15,0	1,45	1,21	1,24	561,2	521,7	0,93

Tab. 29 Vergleich der Querkräfte im Rahmeneck

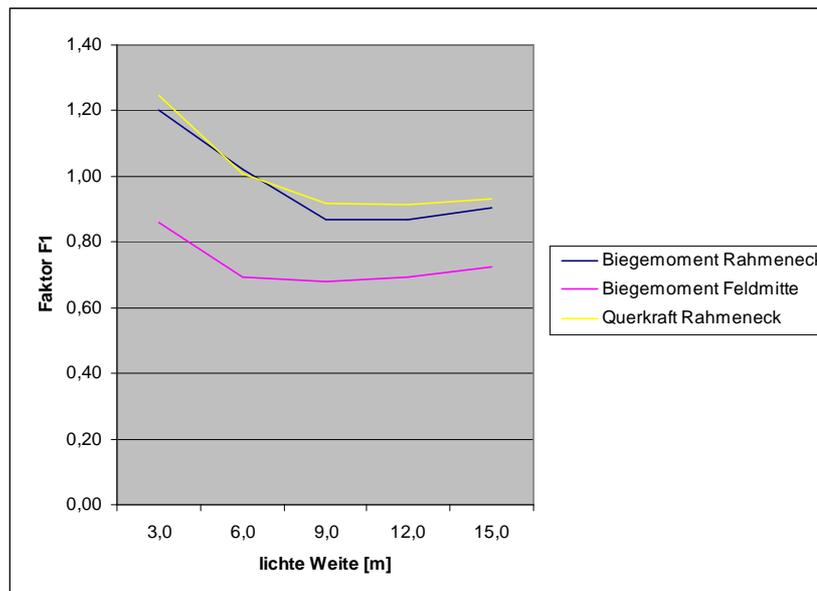


Abb. 57 Faktor F1 für Rahmen mit Lastverteilung bis Tragwerksmittelebene

8.2. Plattentragwerk

Vergleicht man die Ergebnisse der vereinfachten Berechnung des Einfeldtragwerks als Stabmodell, bei der nur die maßgebenden Vertikallasten (für Biegemomente und Querkräfte immer Lastmodell 71, siehe Ergebnisse im Anhang) ohne räumliche Aspekte und ohne Bildung der Verkehrslastgruppen berücksichtigt sind, mit den der genauen Berechnung des räumlichen Finite Elemente Plattenmodells, ergibt sich folgende in der Tabelle zusammengefasste Differenz. Die genaue Berechnung beinhaltet alle räumlichen Aspekte (Seitenstoß, Fliehkräfte und Exzentrizitäten) sowie die Bildung der Verkehrslastgruppen die die ÖN EN 1991-2 vorsieht.

Die Differenz der beiden Ergebnisse führt zu dem Faktor F1.

Last verteilt bis Oberseite des Tragwerks:

Ergebnisse der Biegemomente in Feldmitte						
Stützweite [m]	γ_Q	α	Φ	ebene Berechnung $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	räumliche Berechnung m_x [kNm/m]	F1
2,0	1,45	1,21	1,67	115,0	115,0	1,00
4,0	1,45	1,21	1,56	326,5	223,0	0,68
6,0	1,45	1,21	1,42	637,9	368,0	0,58
8,0	1,45	1,21	1,34	1041,0	557,5	0,54
10,0	1,45	1,21	1,28	1478,9	763,4	0,52
12,0	1,45	1,21	1,24	1964,0	994,7	0,51

Tab. 30 Vergleich der Biegemomente in Feldmitte

Ergebnisse der Querkräfte im Auflagerbereich						
Stützweite [m]	γ_Q	α	Φ	ebene Berechnung $v_{x, LM71}$ [kN/m]	räumliche Berechnung v_x [kN/m]	F1
2,0	1,45	1,21	1,67	255,2	375,6	1,47
4,0	1,45	1,21	1,56	397,7	472,1	1,19
6,0	1,45	1,21	1,42	500,0	512,7	1,03
8,0	1,45	1,21	1,34	583,3	531,0	0,91
10,0	1,45	1,21	1,28	646,8	533,0	0,82
12,0	1,45	1,21	1,24	705,3	527,9	0,75

Tab. 31 Vergleich der Querkräfte im Auflagerbereich

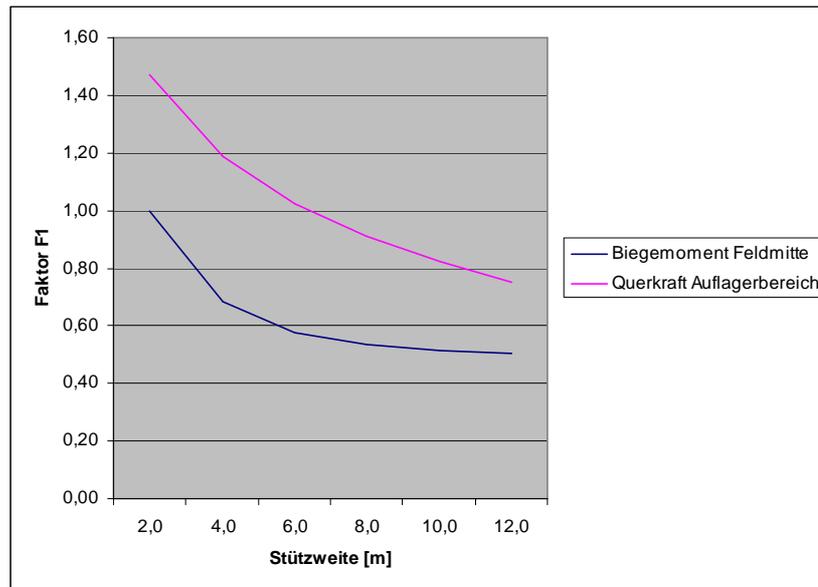


Abb. 58 Faktor F1 für Plattentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksoberseite

Last verteilt bis Mittelebene des Tragwerks:

Ergebnisse der Biegemomente in Feldmitte						
Stützweite [m]	γ_a	α	Φ	ebene Berechnung $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	räumliche Berechnung m_x [kNm/m]	F1
2,0	1,45	1,21	1,67	94,0	95,6	1,02
4,0	1,45	1,21	1,56	269,4	196,6	0,73
6,0	1,45	1,21	1,42	517,1	344,5	0,67
8,0	1,45	1,21	1,34	801,1	534,8	0,67
10,0	1,45	1,21	1,28	1081,4	745,0	0,69
12,0	1,45	1,21	1,24	1364,5	979,8	0,72

Tab. 32 Vergleich der Biegemomente in Feldmitte

Ergebnisse der Querkräfte im Auflagerbereich						
Stützweite [m]	γ_a	α	Φ	ebene Berechnung $v_{x, LM71}$ [kN/m]	räumliche Berechnung v_x [kN/m]	F1
2,0	1,45	1,21	1,67	204,5	280,1	1,37
4,0	1,45	1,21	1,56	307,7	335,8	1,09
6,0	1,45	1,21	1,42	375,0	361,1	0,96
8,0	1,45	1,21	1,34	416,0	355,0	0,85
10,0	1,45	1,21	1,28	437,9	358,3	0,82
12,0	1,45	1,21	1,24	453,7	360,9	0,80

Tab. 33 Vergleich der Querkräfte im Auflagerbereich

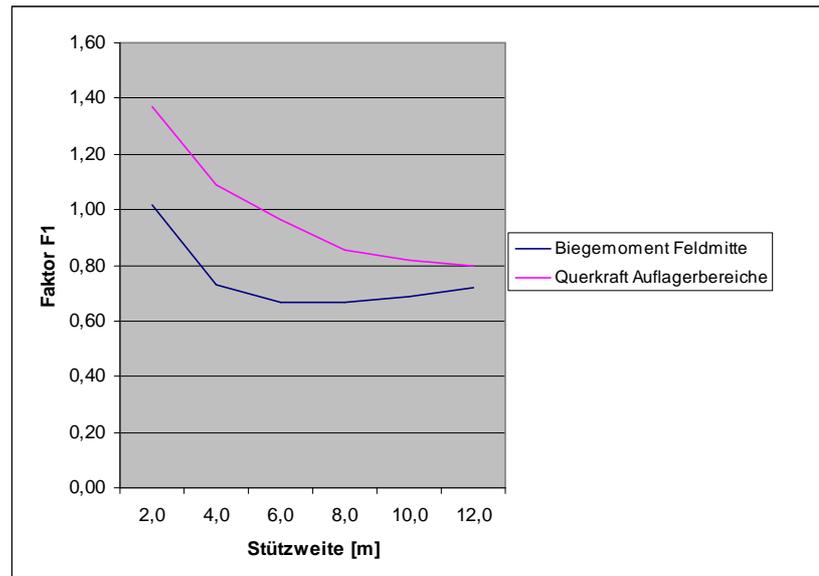


Abb. 59 Faktor F1 für Plattentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksmittelebene

9. VERGLEICH VERSCHIEDENER LASTVERTEILUNGEN

Es wird der Unterschied der verschiedenen Verteilungen (Normlastmodell, Federmodell und Gleichlastmodell) dargestellt.

9.1. Rahmenbauwerk

Last verteilt bis Oberseite des Tragwerks:

Biegemomente im Rahmeneck $m_{x, LM71}$ [kNm/m]								
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	Normlast	Gleichlast		Federmodell	
				100%	[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]
3,0	1,45	1,21	1,53	-83,7	-78,7	94 %	-81,6	98 %
6,0	1,45	1,21	1,35	-274,6	-266,8	97 %	-268,3	98 %
9,0	1,45	1,21	1,30	-634,7	-627,9	99 %	-629,3	99 %
12,0	1,45	1,21	1,26	-1054,6	-1051,3	100 %	-1049,8	100 %
15,0	1,45	1,21	1,24	-1518,2	-1512,4	100 %	-1510,9	100 %

Tab. 34 Biegemomente infolge LM 71 im Rahmeneck

Biegemomente in Feldmitte $m_{x, LM71}$ [kNm/m]								
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	Normlast	Gleichlast		Federmodell	
				100%	[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]
3,0	1,45	1,21	1,53	158,1	144,6	91 %	147,9	94 %
6,0	1,45	1,21	1,35	466,0	453,9	97 %	452,4	97 %
9,0	1,45	1,21	1,30	826,1	813,5	98 %	810,6	98 %
12,0	1,45	1,21	1,26	1250,0	1236,9	99 %	1234,0	99 %
15,0	1,45	1,21	1,24	1783,9	1776,3	100 %	1770,5	99 %

Tab. 35 Biegemomente infolge LM 71 in Feldmitte

Querkraft im Rahmeneck $v_{x, LM71}$ [kN/m]								
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	Normlast	Gleichlast		Federmodell	
				100%	[kN/m]	[%]	[kN/m]	[%]
3,0	1,45	1,21	1,53	345,1	274,1	79 %	287,1	83 %
6,0	1,45	1,21	1,35	513,2	449,5	88 %	456,8	89 %
9,0	1,45	1,21	1,30	653,2	598,9	92 %	600,3	92 %
12,0	1,45	1,21	1,26	762,6	714,9	94 %	712,0	93 %
15,0	1,45	1,21	1,24	866,4	822,2	95 %	816,4	94 %

Tab. 36 Querkraft infolge LM 71 im Rahmeneck

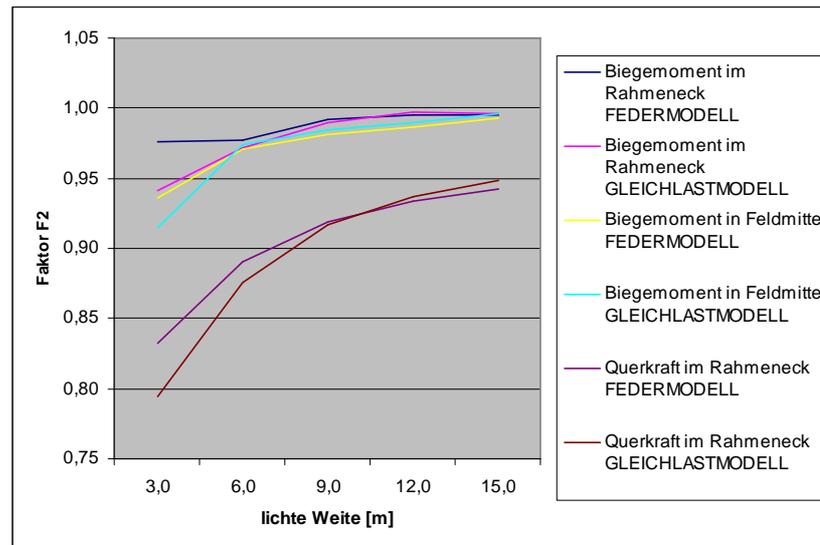


Abb. 60 Faktor F2 für Rahmentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksoberseite

Last verteilt bis Mittelebene des Tragwerks:

Die Ergebnisse des Federmodells unterscheiden sich bei einer Verteilung der Lasten bis zur Mittelebene des Tragwerks kaum von denen des Gleichlastmodell, da durch den engen Abstand der einzelnen „Federlasten“ und die große Verteilung die Lasten ineinander verschwimmen. Es wird daher auf die Auswertung der Federlasten verzichtet.

Biegemomente im Rahmeneck $m_{x, LM71}$ [kNm/m]						
Lichte Weite [m]	γ_a	α	Φ	Normlast 100%	Gleichlast [kNm/m] [%]	
3,0	1,45	1,21	1,53	-72,6	-67,9	93 %
6,0	1,45	1,21	1,35	-223,0	-220,4	99 %
9,0	1,45	1,21	1,30	-490,1	-488,7	100 %
12,0	1,45	1,21	1,26	-774,2	-774,3	100 %
15,0	1,45	1,21	1,24	-1041,1	-1045,6	100 %

Tab. 37 Biegemomente infolge LM 71 im Rahmeneck

Biegemomente in Feldmitte $m_{x, LM71}$ [kNm/m]						
Lichte Weite [m]	γ_a	α	Φ	Normlast 100%	Gleichlast [kNm/m] [%]	
3,0	1,45	1,21	1,53	129,8	124,6	96 %
6,0	1,45	1,21	1,35	374,4	374,1	100 %
9,0	1,45	1,21	1,30	632,8	632,9	100 %
12,0	1,45	1,21	1,26	912,2	912,1	100 %
15,0	1,45	1,21	1,24	1224,5	1227,6	100 %

Tab. 38 Biegemomente infolge LM 71 in Feldmitte

Querkraft im Rahmeneck $v_x, LM71$ [kN/m]						
Lichte Weite [m]	γ_a	α	Φ	Normlast 100%	Gleichlast	
					[kN/m]	[%]
3,0	1,45	1,21	1,53	266,8	236,4	89 %
6,0	1,45	1,21	1,35	388,9	369,8	95 %
9,0	1,45	1,21	1,30	473,9	466,9	99 %
12,0	1,45	1,21	1,26	526,6	526,4	100 %
15,0	1,45	1,21	1,24	561,2	568,4	101 %

Tab. 39 Querkraft infolge LM 71 im Rahmeneck

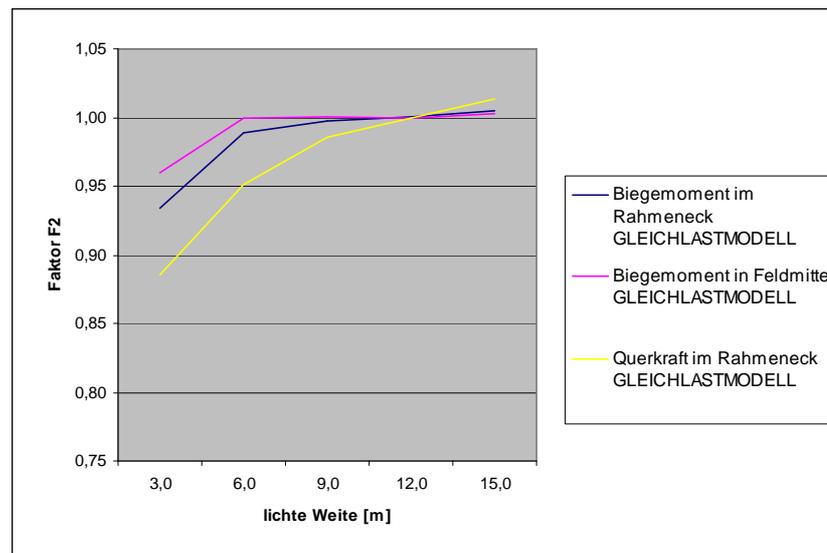


Abb. 61 Faktor F2 für Rahmentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksmittelebene

9.2. Plattentragwerk

Last verteilt bis Oberseite des Tragwerks:

Biegemomente in Feldmitte $m_{x, LM71}$ [kNm/m]								
Stützweite [m]	γ_Q	α	Φ	Normlast 100%	Gleichlast		Federmodell	
					[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]
2,0	1,45	1,21	1,67	115,0	81,8	71 %	90,2	78 %
4,0	1,45	1,21	1,56	326,5	306,0	94 %	308,9	95 %
6,0	1,45	1,21	1,42	637,9	625,0	98 %	625,0	98 %
8,0	1,45	1,21	1,34	1041,0	1029,5	99 %	1025,2	98 %
10,0	1,45	1,21	1,28	1478,9	1467,4	99 %	1463,1	99 %
12,0	1,45	1,21	1,24	1964,0	1953,2	99 %	1947,4	99 %

Tab. 40 Biegemomente infolge LM 71 in Feldmitte

Querkraft im Auflagerbereich $v_{x, LM71}$ [kN/m]								
Stützweite [m]	γ_Q	α	Φ	Normlast 100%	Gleichlast		Federmodell	
					[kN/m]	[%]	[kN/m]	[%]
2,0	1,45	1,21	1,67	255,2	179,8	70 %	195,8	77 %
4,0	1,45	1,21	1,56	397,7	320,5	81 %	330,6	83 %
6,0	1,45	1,21	1,42	500,0	430,7	86 %	440,8	88 %
8,0	1,45	1,21	1,34	583,3	524,9	90 %	527,8	90 %
10,0	1,45	1,21	1,28	646,8	594,5	92 %	594,5	92 %
12,0	1,45	1,21	1,24	705,3	656,9	93 %	655,4	93 %

Tab. 41 Querkraft infolge LM 71 im Auflagerbereich

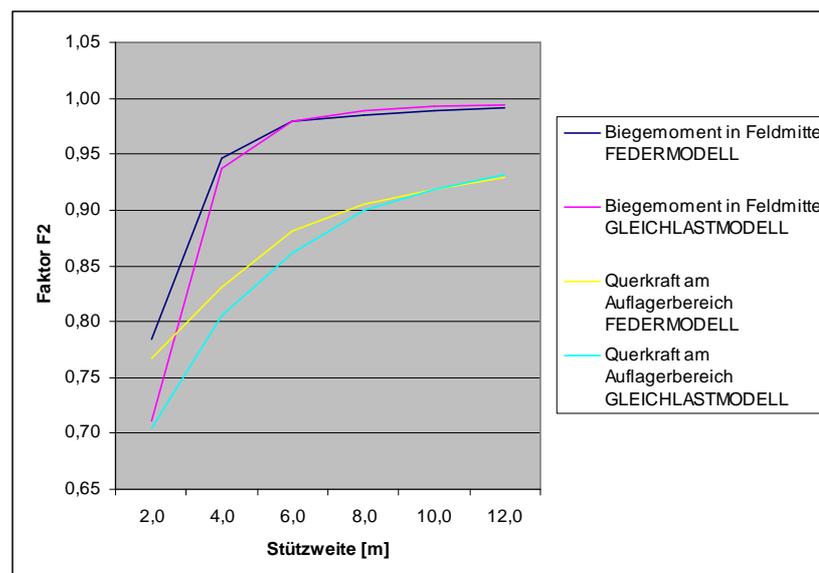


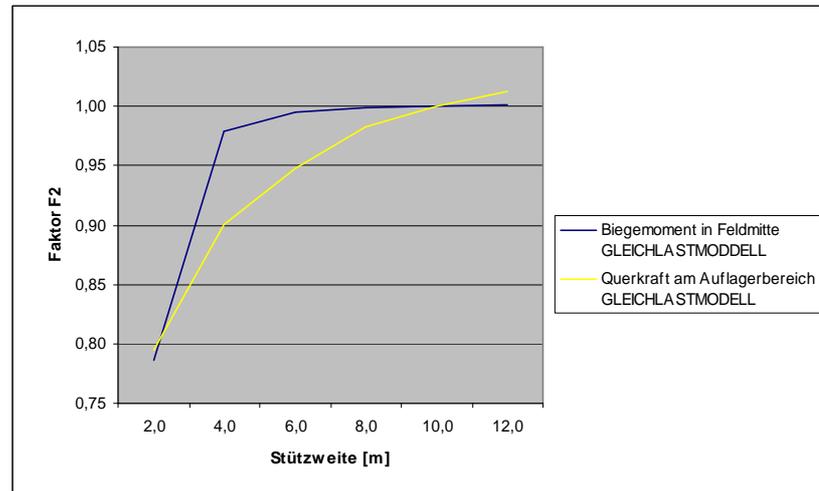
Abb. 62 Faktor F2 für Plattentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksoberseite

Last verteilt bis Mittelebene des Tragwerks:

Biegemomente in Feldmitte $m_{x, LM71}$ [kNm/m]						
Stützweite [m]	γ_Q	α	Φ	Normlast 100%	Gleichlast [kNm/m] [%]	
2,0	1,45	1,21	1,67	94,0	73,8	79 %
4,0	1,45	1,21	1,56	269,4	263,9	98 %
6,0	1,45	1,21	1,42	517,1	514,8	100 %
8,0	1,45	1,21	1,34	801,1	800,4	100 %
10,0	1,45	1,21	1,28	1081,4	1081,4	100 %
12,0	1,45	1,21	1,24	1364,5	1367,2	100 %

Tab. 42 Biegemomente infolge LM 71 in Feldmitte

Querkraft im Auflagerbereich $v_{x, LM71}$ [kN/m]						
Stützweite [m]	γ_Q	α	Φ	Normlast 100%	Gleichlast [kN/m] [%]	
2,0	1,45	1,21	1,67	204,5	162,4	79 %
4,0	1,45	1,21	1,56	307,7	277,0	90 %
6,0	1,45	1,21	1,42	375,0	355,3	95 %
8,0	1,45	1,21	1,34	416,0	408,9	98 %
10,0	1,45	1,21	1,28	437,9	437,9	100 %
12,0	1,45	1,21	1,24	453,7	459,7	101 %

Tab. 43 Querkraft infolge LM 71 im Auflagerbereich**Abb. 63** Faktor F2 für Plattentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksmittelebene

10. ANWENDUNG DER ERGEBNISSE

Wird eine Bemessung im Grenzzustand der Tragsicherheit mit der Einwirkungskombination bei ständigen oder vorübergehenden Bemessungssituationen durchgeführt, ist die Bedingung $E_d \leq R_d$ einzuhalten. Wobei der Bemessungswert der Auswirkung der Einwirkung E_d nach der Formel (6.10) gemäß ÖNORM EN 1990 wie folgt bestimmt wird:

$$\sum_{j \geq 1} g_{Gj} \times G_{kj} + g_{Q1} \times Q_{k1} + \sum_{j > 1} g_{Qi} \times y_{0i} \times Q_{ki}$$

Für die hier behandelten Tragwerke wird davon ausgegangen, dass die Einwirkung aus Eisenbahnverkehr als dominierende veränderliche Einwirkung wirkt und somit Q_{k1} immer Schnittkraft infolge einer Eisenbahneinwirkung ist. Gemäß ÖN EN 1991-2 muss für die veränderliche Einwirkung Q_{k1} der ungünstigste Wert aller Vertikallastmodelle mit allen im Eurocode erhaltenen Aspekten samt Bildung der Lastgruppen berücksichtigt werden.

Es ist möglich unter Anwendung der Ergebnisse dieser Arbeit eine Berechnung mit einem ebenen Stabtragwerk (vereinfachter Ansatz) nur unter Anwendung des Vertikalanteil des Lastmodell 71 (ohne Exzentrizitäten, Gleislageänderung, Seitenstoß, Fliehkraft, Anfahren und Bremsen sowie Bildung der Lastgruppen) durchzuführen, wobei der Term $g_{Q1} \times Q_{k1}$ durch $g_{Q1} \times Q_{k1} \times F_1$ ersetzt wird.

Stützweite [m]	Faktor F1 für Rahmentragwerke			$g_{Q1} \times Q_{k1} \times F$		
	F ₁ für M (Rahmeneck)	F ₁ für M (Feld)	F ₁ für Q (Rahmeneck)	Biegemoment (Rahmeneck)	Biegemoment (Feld)	Querkraft (Rahmeneck)
3,0	1,15	0,84	1,31	-96,4	132,4	452,5
6,0	0,88	0,61	1,07	-242,6	283,5	550,3
9,0	0,69	0,54	0,91	-437,6	443,3	594,8
12,0	0,65	0,52	0,83	-681,9	653,7	635,8
15,0	0,63	0,50	0,78	-952,4	894,9	675,3

Tab. 44 Übersicht Faktor F₁ (OKTW)

Stützweite [m]	Faktor F_1 für Rahmentragwerke			$g_{Q1} \times Q_{k1} \times F$		
	F_1 für M (Rahmeneck)	F_1 für M (Feld)	F_1 für Q (Rahmeneck)	Biegemoment (Rahmeneck)	Biegemoment (Feld)	Querkraft (Rahmeneck)
3,0	1,20	0,86	1,25	-87,3	111,4	332,2
6,0	1,02	0,69	1,01	-228,1	259,7	392,2
9,0	0,87	0,68	0,92	-425,4	428,8	434,4
12,0	0,87	0,69	0,91	-673,5	633,2	480,4
15,0	0,90	0,72	0,93	-940,8	886,8	521,7

Tab. 45 Übersicht Faktor F_1 (MTW)

Stützweite [m]	Faktor F_1 für Plattendragwerke		$g_{Q1} \times Q_{k1} \times F$	
	F_1 für M (Feld)	F_1 für Q (Auflager)	Biegemoment (Feld)	Querkraft (Auflager)
2,0	1,00	1,47	115,0	375,6
4,0	0,68	1,19	223,0	472,1
6,0	0,58	1,03	368,0	512,7
8,0	0,54	0,91	557,5	531,0
10,0	0,52	0,82	763,4	533,0
12,0	0,51	0,75	994,7	527,9

Tab. 46 Übersicht Faktor F_1 (OKTW)

Stützweite [m]	Faktor F_1 für Plattendragwerke		$g_{Q1} \times Q_{k1} \times F$	
	F_1 für M (Feld)	F_1 für Q (Auflager)	Biegemoment (Feld)	Querkraft (Auflager)
2,0	1,02	1,37	95,6	280,1
4,0	0,73	1,09	196,6	335,8
6,0	0,67	0,96	344,5	361,1
8,0	0,67	0,85	534,8	355,0
10,0	0,69	0,82	745,0	358,3
12,0	0,72	0,80	979,8	360,9

Tab. 47 Übersicht Faktor F_1 (MTW)Legende:

M Biegemoment

Q Querkraft

OKTW Lastausbreitung bis Oberkante des Tragwerks

MTW Lastausbreitung bis Mittelebene des Tragwerks

11. ZUSAMMENFASSUNG

Der Vergleich zeigt, dass für die Ermittlung der Schnittkräfte im Tragwerk, sowohl bei Plattenbrücken als auch bei den Rahmenbrücken, die Auswirkungen der räumlichen Lastanteile sowie die Bildung der Lastgruppen bei Vernachlässigung der Plattenwirkung nur bei kurzen Stützweiten von Bedeutung sind. Bei Stützweiten größer 6,0 m (Faktor F_1 kleiner 1,0) ist man für die gegenständlichen Brücken, mit einer Berechnung eines Stabwerksmodells unter Anwendung eines vereinfachten Lastansatzes (Vertikalanteil des Lastmodells 71) auf der sicheren Seite.

Der Vergleich der unterschiedlichen Lastverteilungen (Gleichlast, Federmodell) des Lastmodells 71 zeigt, dass bei den untersuchten Tragwerken bei großen Stützweiten (größer 10,0 m) wie erwartet, keine unterschiedlichen Schnittkräfte verursacht werden.

12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 einfeldriges Plattentragwerk	6
Abb. 2 Rahmentragwerk.....	6
Abb. 3 1-gleisiger Querschnitt	7
Abb. 4 Querschnitt des vereinfachten Rechenmodells	9
Abb. 5 ebenes Rahmenmodell Abb. 6 ebenes Einfeldmodell.....	9
Abb. 7 räumliches Rahmenmodell Abb. 8 räumliches Einfeldmodell.....	10
Abb. 9 Wirkung des Erddruckes	12
Abb. 10 Lastmodell 71, Normlastmodell	13
Abb. 11 aufgeteilte Einzellasten	13
Abb. 12 Lastmodell 71, Federmodell	14
Abb. 13 vereinfachtes Lastmodell 71.....	14
Abb. 14 Exzentrizität der Radlasten	15
Abb. 15 Verteilung der Lasten	15
Abb. 16 Beispiele für die Aufstellung des Lastmodells 71 entsprechend der Einflusslinien: (a) Einflusslinie für die Querkraft in Feldmitte, (b) Einflusslinie für Biegemoment in Feldmitte	15
Abb. 17 Lastmodell SW/0	16
Abb. 18 Lastmodell SW/2	16
Abb. 19 „unbelasteter Zug“.....	17
Abb. 20 Fliehkräfte infolge LM 71	20
Abb. 21 Fliehkräfte infolge SW/2, mit $f=1$; $V=80$ km/h, F für zugehörige Vertikallast	20
Abb. 22 Bemessungssituation I – Ersatzlast q_{A1d}	22
Abb. 23 Bemessungssituation II – Ersatzlast q_{A2d}	22
Abb. 24 Wirkung des Verkehrserddrucks (ein- oder beidseitig)	28
Abb. 25 Gleislast auf Querschnitt	29
Abb. 26 Lastverteilung.....	31
Abb. 27 Lastbild LM71 - OKTW	31
Abb. 28 Lastbild LM71 - MTW	31
Abb. 29 Lastbild LM71 – Feder - OKTW	32
Abb. 30 Lastbild LM71 – Gleichlast - OKTW.....	33
Abb. 31 Gleislasten auf FE Modell	34
Abb. 32 Schotterbettstärke	35
Abb. 33 Lastbild LM71 - OKTW	35

Abb. 34 Lastbild LM71 – Gleichlast - OKTW.....	36
Abb. 35 Lastbild LM71 – Feder - OKTW.....	37
Abb. 36 Lastbild LM71 – OKTW mit Berücksichtigung von e_{\max}	40
Abb. 37 Lastbild LM71 – OKTW mit Berücksichtigung von e_{\max} und e''	40
Abb. 38 Ausbreitfläche der Last, eines horizontalen Gleises.....	41
Abb. 39 Ausbreitfläche der Last, eines überhöhten Gleises.....	42
Abb. 40 Lastbild „unbelasteter Zug“ – OKTW.....	43
Abb. 41 Lastbild SW/2 – OKTW.....	46
Abb. 42 Lastbild Anfahren – OKTW.....	49
Abb. 43 Hebel und Lastbild Fliehkraft – OKTW.....	52
Abb. 44 Lastbild Fliehkraft - LM71 - OKTW.....	54
Abb. 45 Hebel und Lastbild Seitenstoß – OKTW.....	56
Abb. 46 Lastbild Seitenstoß - OKTW.....	57
Abb. 47 Schnittkraftverläufe.....	62
Abb. 48 Schnittkraftverläufe.....	63
Abb. 49 Nachweisstellen Rahmentragwerk.....	64
Abb. 50 Nachweisstellen Plattentragwerk.....	65
Abb. 51 Biegemomentenverläufe der Verkehrslastmodelle.....	67
Abb. 52 Querkraftverläufe der Verkehrslastmodelle.....	67
Abb. 53 Biegemomentenverläufe LM 71.....	68
Abb. 54 Querkraftverläufe LM 71.....	68
Abb. 55 Vergleichswert.....	87
Abb. 56 Faktor F1 für Rahmen mit Lastverteilung bis Tragwerksoberseite.....	89
Abb. 57 Faktor F1 für Rahmen mit Lastverteilung bis Tragwerksmittelebene.....	90
Abb. 58 Faktor F1 für Plattentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksoberseite.....	92
Abb. 59 Faktor F1 für Plattentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksmittelebene.....	93
Abb. 60 Faktor F2 für Rahmentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksoberseite.....	95
Abb. 61 Faktor F2 für Rahmentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksmittelebene.....	96
Abb. 62 Faktor F2 für Plattentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksoberseite.....	97
Abb. 63 Faktor F2 für Plattentragwerke mit Lastverteilung bis Tragwerksmittelebene.....	98

13. TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1 Stützweiten der Plattentragwerke	6
Tab. 2 Stützweiten der Rahmentragwerke.....	6
Tab. 3 Lastfallgruppen.....	23
Tab. 4 dynamischer Beiwert Rahmentragwerke	30
Tab. 5 dynamischer Beiwert Plattentragwerke.....	30
Tab. 6 Blocklasten des Federmodells.....	32
Tab. 7 Fliehkräfte für Rahmen (LW 6,0 m)	52
Tab. 8 maßgebende Fliehkräfte (Einzellasten)	53
Tab. 9 maßgebende Fliehkräfte (Gleichlast).....	53
Tab. 10 Schnittkräfte LM71, SW/0, SW/2, unbel. Zug.....	66
Tab. 11 Schnittkräfte LM71, unterschiedliche Verteilungen	68
Tab. 12 Biegemomente LM71, Rahmeneck.....	69
Tab. 13 Querkräfte LM71, Rahmeneck.....	70
Tab. 14 Biegemomente LM71, Feldmitte	70
Tab. 15 Biegemomente „unbel. Zug“, Rahmeneck	73
Tab. 16 Querkräfte „unbel. Zug“, Rahmeneck	74
Tab. 17 Biegemomente „unbel. Zug“, Feldmitte.....	74
Tab. 18 Biegemomente „SW/2“, Rahmeneck	76
Tab. 19 Querkräfte „SW/2“, Rahmeneck	76
Tab. 20 Biegemomente „SW/2“, Feldmitte.....	76
Tab. 21 Ergebnis der Lastgruppen	85
Tab. 22 Vergleich der Biegemomente, Rahmeneck.....	86
Tab. 23 Vergleich der Biegemomente, Feldmitte.....	86
Tab. 24 Vergleich der Biegemomente im Rahmeneck.....	88
Tab. 25 Vergleich der Biegemomente in Feldmitte	88
Tab. 26 Vergleich der Querkräfte im Rahmeneck.....	89
Tab. 27 Vergleich der Biegemomente im Rahmeneck.....	89
Tab. 28 Vergleich der Biegemomente in Feldmitte	90
Tab. 29 Vergleich der Querkräfte im Rahmeneck.....	90
Tab. 30 Vergleich der Biegemomente in Feldmitte	91
Tab. 31 Vergleich der Querkräfte im Auflagerbereich	91
Tab. 32 Vergleich der Biegemomente in Feldmitte	92
Tab. 33 Vergleich der Querkräfte im Auflagerbereich	92
Tab. 34 Biegemomente infolge LM 71 im Rahmeneck	94

Tab. 35 Biegemomente infolge LM 71 in Feldmitte.....	94
Tab. 36 Querkraft infolge LM 71 im Rahmeneck	94
Tab. 37 Biegemomente infolge LM 71 im Rahmeneck	95
Tab. 38 Biegemomente infolge LM 71 in Feldmitte.....	95
Tab. 39 Querkraft infolge LM 71 im Rahmeneck	96
Tab. 40 Biegemomente infolge LM 71 in Feldmitte.....	97
Tab. 41 Querkraft infolge LM 71 im Auflagerbereich.....	97
Tab. 42 Biegemomente infolge LM 71 in Feldmitte.....	98
Tab. 43 Querkraft infolge LM 71 im Auflagerbereich.....	98
Tab. 44 Übersicht Faktor F_1 (OKTW).....	99
Tab. 45 Übersicht Faktor F_1 (MTW).....	100
Tab. 46 Übersicht Faktor F_1 (OKTW).....	100
Tab. 47 Übersicht Faktor F_1 (MTW).....	100

14. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Adolf Pucher – Einflußfelder für elastische Platten
Springer Verlag, 1977
- [2] F. Leonhardt – Vorlesung über Massivbau, Teil 6. Grundlagen des
Massivbrückenbauers, Springer Verlag, 1979
- [3] Karl Girkmann – Flächentragwerke
Springer Verlag, Wien 1948
- [4] Günter Rombach – Anwendung der Finite-Elemente-Methode im Betonbau –
Fehlerquellen und ihre Vermeidung
Ernst und Sohn, 2006
- [5] Karl Heinz Holst – Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton – Eurocode –
Ergänzungsband
Ernst und Sohn, Berlin 2004
- [6] „Eisenbahnbrücken aus Stahlgrobblech“ – Francesco Aigner, Helmut Brunner,
Herbert Pardatscher - Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift
(ÖIAZ), 145. Jg., Heft 3/2000
- [7] Eurocode 0, Grundlagen der Tragwerksplanung
Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2003
- [8] Eurocode 0, Grundlagen der Tragwerksplanung – Anhang A2: Anwendung bei
Brücken
Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2006
- [9] Eurocode 1, Einwirkungen auf Tragwerke – Verkehrslasten auf Brücken
Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2004
- [10] A. Wiesinger, M. Riel, Diplomarbeit „Vereinfachte Last- und Tragmodelle für
Eisenbahnbrücken auf der Grundlage aktueller Eurocodes“, Wien 2006
-

