



Masterarbeit

**Auswirkungen ausgewählter Verkehrslastmodelle auf die Beanspruchung von
Plattenbalkenbrücken**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs
der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

unter der Leitung von

O. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue

Dipl.-Ing. Stefan Oberwalder

Institut für Betonbau

eingereicht an der Technischen Universität Graz

Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

von

Abramowicz Kevin, BSc.

Graz, März 2018

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die in den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

DANKSAGUNG

Danke an meine Eltern Marta und Krzysztof, die mir die Möglichkeit gaben, mein Studium zu absolvieren. Hervorheben möchte ich in diesem Kontext meine Mutter, welche mich im letzten Studienabschnitt besonders unterstützte. Weiterer Dank gilt meinen Geschwistern Karolina und Matthias, welche mir in der letzten Phase des Studiums immer zur Seite standen. Weiters möchte ich auch dem Freund meiner Mutter Manfred danken, welcher mir gegenüber immer sehr hilfsbereit war.

Ein sehr herzlicher Dank gilt meinem Betreuer Stefan Oberwalder, welcher mich kollegial durch die Arbeit geführt hat und mir mit seiner kompetenten Art viel geholfen hat. Auch bedanke ich mich beim Vorstand des Betonbauinstitutes, Professor Tue, welcher mich unterstützte und am Voranbringen der Arbeit stark involviert war. Letztlich danke ich dem Kooperationspartner, der ASFINAG und in diesem Zusammenhang Herrn Dr. Erwin Pilch, durch wessen Feedback und Anregungen diese Arbeit an Qualität gewinnen konnte.

Zum Schluss danke ich allen meinen Freunden, die mich im Zuge der Arbeit unterstützt haben.

KURZFASSUNG

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Normungssituation durch die Einführung der Eurocodes stark verändert. Die im Jahr 1970 in Kraft getretene ÖNORM B 4002 stellte die Berechnungsgrundlage für zahlreiche österreichische Straßenbrücken dar, bis sie im Jahr 2009 endgültig zurückgezogen wurde. So wurden zahlreiche österreichische Brückentragwerke auf der Grundlage der alten Norm geplant und entwickelt. Mit der Einführung der Eurocodes wurden neben dem Bemessungskonzept auch die Lastannahmen für Brückentragwerke erneuert. Diese bilden neben dem größeren Verkehrsaufkommen auch die größeren Achslasten im Vergleich zu den 1960er und 1970er Jahren ab. Aus diesem Grund kommt einem Vergleich der beiden Belastungsansätze große Bedeutung zu. In den neuen europäischen Normen haben die Mitgliedsstaaten über nationale Anhangdokumente weiters die Möglichkeit, Werte anzupassen und festzulegen. So unterscheiden sich beispielsweise die Flächenlasten in Österreich und Deutschland. Im Zuge der vorliegenden Arbeit werden die alte österreichische Norm (ÖNORM B 4002) mit den neuen Belastungsansätzen der Eurocodes unter Berücksichtigung der österreichischen (ÖNORM B 1991-2) und deutschen (DIN EN 1991-2) Anhänge verglichen. Der Vergleich erfolgt über eine Auswertung der maßgebenden Schnittgrößen an den Hauptträgern von Plattenbalkenbrücken. Die Durchführung der Arbeit erfolgt mithilfe der FE-Software Sofistik. Am Ende der Arbeit werden die gewonnenen Erkenntnisse und Unterschiede in den einzelnen Normen zusammengefasst.

ABSTRACT

In the last few decades the situation regarding standardization has strongly changed due to the initiation of the Eurocodes. The ÖNORM B 4002, which became effective in 1970, embodied the basic of calculation until it was finally withdrawn in the year 2009. Therefore numerous Austrian bridge constructions were planned and built in compliance with the old standard. With the initiation of the Eurocodes not only the design but also the loading assumptions were renewed. Those assumptions consider the increase of axle loads and distributed loads in real traffic since the 1960ies. For this reason, the comparison of the loading assumption of both standards is of high importance. In the new European standards the member states have the opportunity of stating and adjusting specific values in so-called national annexes. For this reason as an example the unified distributed loads differ in Austria and Germany from each another. In this paper the old Austrian standard (ÖNORM B 4002) is being compared to the new loading assumptions of the Eurocodes taking into account the Austrian (ÖNORM B 1991-2) and German (DIN EN 1991-2) national annexes. The comparison is being made by the evaluation of cutting forces in the beams of T-beam bridges. The implementation of this task was made with the assistance of the FE-software Sofistik. At the end of this paper the obtained values and differences within the standards are summarized.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 1 |
| 1.1 | MOTIVATION | 1 |
| 1.2 | ABGRENZUNG DER ARBEIT | 1 |
| 2 | BESCHREIBUNG DER ZU UNTERSUCHENDEN VERKEHRLASTMODELLE | 2 |
| 2.1 | ÖNORM EN 1991-2 (2012-03-01) | 2 |
| 2.1.1 | <i>Allgemeines</i> | 2 |
| 2.1.2 | <i>Straßenverkehr und andere für Straßenbrücken besondere Einwirkungen</i> | 2 |
| 2.1.3 | <i>Unterteilung der Fahrbahn in rechnerische Fahrstreifen</i> | 3 |
| 2.1.4 | <i>Beschreibung der Lastmodelle für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)</i> | 4 |
| 2.1.5 | <i>Fußgängerlasten und Kombinationstabellen</i> | 8 |
| 2.2 | ÖNORM B 1991-2 (2011-04-15) | 8 |
| 2.3 | DIN EN 1991-2/NA : 2012 08 | 9 |
| 2.4 | ÖNORM B 4002 (1970) | 9 |
| 2.4.1 | <i>Dynamische Beiwerte</i> | 9 |
| 2.4.2 | <i>Verkehrslasten</i> | 10 |
| 3 | PLATTENBALKENBRÜCKEN | 12 |
| 3.1 | ALLGEMEINES | 12 |
| 3.1.1 | <i>Der Begriff Plattenbalkenbrücke</i> | 12 |
| 3.1.2 | <i>Geschichtliches/ Allgemeines</i> | 12 |
| 3.2 | ÜBLICHE ANWENDUNGSBEREICHE | 13 |
| 3.2.1 | <i>Übliche Abmessungen</i> | 13 |
| 3.2.2 | <i>Übliche Abmessungen in Querrichtung</i> | 13 |
| 3.3 | TRAGVERHALTEN VON PLATTENBALKENBRÜCKEN | 13 |
| 3.3.1 | <i>Querverteilung</i> | 14 |
| 3.3.2 | <i>Queraussteifungen</i> | 17 |
| 3.3.3 | <i>Unterschied zwischen zwei oder mehreren Hauptträgern [8]</i> | 19 |
| 3.4 | MÖGLICHKEITEN DER MODELLBILDUNG | 20 |
| 3.4.1 | <i>2D Modell mit Querverteilungslinie</i> | 20 |
| 3.4.2 | <i>3D Modell mit Stäben mit Querverteilungsplatte</i> | 22 |
| 3.4.3 | <i>3D Modell als Faltwerk</i> | 22 |
| 3.4.4 | <i>Lagerung der Brücke</i> | 23 |
| 4 | PARAMETERSTUDIE | 24 |
| 4.1 | ALLGEMEINES | 24 |
| 4.2 | SIMULATION IN SOFISTIK | 25 |
| 4.2.1 | <i>Querschnittswerte und Materialdefinition</i> | 25 |
| 4.2.2 | <i>Erstellung des Systems</i> | 27 |
| 4.2.3 | <i>Belastungen</i> | 30 |
| 4.2.4 | <i>Auswertungsstellen (Schnitte)</i> | 36 |
| 4.2.5 | <i>Überlagerung</i> | 37 |
| 4.3 | UNTERSUCHTE PARAMETER | 38 |
| 4.3.1 | <i>Erläuterung der Parameter</i> | 38 |
| 4.3.2 | <i>Maßgebende Auswertungsstellen</i> | 39 |
| 5 | DISKUSSION DER ERGEBNISSE | 41 |
| 5.1 | DISKUSSION DER ERGEBNISSE | 41 |

| | | |
|----------------------|---|-----------|
| 5.1.1 | <i>Diskussion der Ergebnisse für Einfeldträger</i> | 42 |
| 5.1.2 | <i>Diskussion der Ergebnisse für Zweifeldträger</i> | 47 |
| 5.1.3 | <i>Diskussion der Ergebnisse für Dreifeldträger</i> | 53 |
| 5.1.4 | <i>Zusammenfassung der Ergebnisse</i> | 59 |
| 5.2 | ERWEITERUNG DER ERGEBNISUNTERSUCHUNG | 61 |
| 5.2.1 | <i>Diskussion der Ergebnisse für Einfeldträger</i> | 61 |
| 5.2.2 | <i>Diskussion der Ergebnisse für Zweifeldträger</i> | 64 |
| 5.2.3 | <i>Diskussion der Ergebnisse für Dreifeldträger</i> | 68 |
| 5.2.4 | <i>Zusammenfassung der erweiterten Ergebnisuntersuchung</i> | 71 |
| 5.3 | VERGLEICH DER ERGEBNISSE MIT WICKE | 72 |
| VERZEICHNISSE | | 75 |
| | ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 75 |
| | TABELLENVERZEICHNIS | 78 |
| | LITERATURVERZEICHNIS | 79 |
| ANHANG | | 80 |

1 EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION

Brückenbauten sind Bauwerke, welche Stadt und Landschaftsbilder über den Verlauf der Geschichte prägen und es bis heute tun. Bei zahlreichen bekannten Ingenieurbauten handelt es sich um Brücken, welche den Status einer Sehenswürdigkeit erhalten haben. Ob es sich um ältere Exemplare wie die Karlsbrücke in Prag oder die Golden Gate Bridge in San Francisco handelt, stellen diese Bauwerke nicht ohne Grund Tourismusknoten dar. Abgesehen von dem geschichtlichen Aspekt, erweisen sich viele Brückentragwerke auch aus technischer Sicht als Höchstleistungen der Ingenieurskunst. Deshalb bereitet es mir umso mehr Freude mein Studium mit diesem Thema im Zuge meiner Masterarbeit zu beenden.



Abbildung 1 Golden Gate Bridge in San Francisco [1]

Im letzten Jahrhundert wurden bis zur Einführung der Eurocodes regelmäßig neue Belastungsansätze für Brückentragwerke definiert. Eine sehr wesentliche Rolle spielte in Österreich die ÖNORM B 4002, welche ab dem Jahr 1970 die Bemessungsgrundlage für alle österreichischen Brückentragwerke war und erst im Jahr 2009 zurückgezogen wurde. Im Rahmen der Masterarbeit werden die neuen Lastmodelle aus den Eurocodes der alten Norm gegenübergestellt. Der Vergleich der Normen stellt das Hauptthema der Arbeit dar und wird von mir mit großer Neugier durchgeführt. Hierzu wird das Programm Sofistik verwendet, welches eine parametrisierte Eingabe ermöglicht.

1.2 ABGRENZUNG DER ARBEIT

Das Thema der Masterarbeit ist die Untersuchung von Verkehrslastmodellen an Plattenbalkenbrücken. Deshalb wird nur der Überbau des Tragwerkes modelliert. Stützen, Widerlager, Interaktionen von Zwängen aus Erdbewegungen und Temperatureinwirkungen sind nicht Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit. Es handelt sich um eine reine Berechnung der Schnittkräfte aus Verkehrslasten, weshalb Systemschnittkräfte wie die Vorspannung oder das Eigengewicht nicht berücksichtigt werden.

2 BESCHREIBUNG DER ZU UNTERSUCHENDEN VERKEHRSLASTMODELLE

In diesem Abschnitt werden Lastmodelle für Straßenbrücken laut ÖNORM B 4002, ÖNORM EN 1991-2 und jeweils der deutsche (DIN EN 1991-2/NA) und österreichische (ÖNORM B 1991-2 (2011-04-15)) nationale Anhang erläutert. Das Augenmerk wird hierbei primär auf die in den Untersuchungen verwendeten Lasten gerichtet. Auf eine vollständige Beschreibung der Normen wird verzichtet.

2.1 ÖNORM EN 1991-2 (2012-03-01)

2.1.1 ALLGEMEINES

Die aktuelle ÖNORM EN 1991-2 (2012-03-01) umfasst die Verkehrseinwirkungen auf Brückentragwerke. Die Norm ist in sechs Kapitel gegliedert und deckt die Lasten aus Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr und Fußgängerverkehr ab. Wie alle Teile des Eurocodes beinhaltet auch die ÖNORM EN 1991-2 Faktoren, welche durch einen nationalen Anhang verändert, selbst gewählt oder modifiziert werden dürfen. An jenen Stellen finden sich Empfehlungen sowie Ober- und Untergrenzen für diese Werte.

Da im Rahmen dieser Arbeit die Belastungen aus Straßenverkehrslasten untersucht werden, wird vor allem das Kapitel 4 „Straßenverkehr und andere für Straßenbrücken besondere Einwirkungen“ näher beschrieben. Das Augenmerk wird hier auf vertikale Verkehrslasten im Grenzzustand der Tragfähigkeit gelegt.

2.1.2 STRAßENVERKEHR UND ANDERE FÜR STRAßENBRÜCKEN BESONDERE EINWIRKUNGEN

Die Norm definiert von Lastmodellen abhängige charakteristische Werte von Verkehrslasten in vertikaler und horizontaler Richtung und deren Aufbringung sowie Lastmodelle für Ermüdungsberechnungen. Die Aufbringung der Verkehrslasten ist gemäß der ÖNORM EN 1991-2 nur bis zu einer Gesamtlänge der Brücke von 200 Metern zulässig. Die Norm verweist darauf, dass eine Anwendung über diese Länge hinaus auf der sicheren Seite liegt und gibt die Möglichkeit weitere Bestimmungen diesbezüglich in den nationalen Anhängen zu treffen. Die in den Lastmodellen beschriebenen Lasten sollen den tatsächlichen Verkehr aus dem Jahr 2000 widerspiegeln. Außer bei den Ermüdungslastfällen ist ein dynamischer Faktor bereits in den Lastmodellen inkludiert. Dieser wurde unter der Annahme einer normalen Fahrzeugfederung und einer mittleren Fahrbahnebenheit bestimmt. Bei Ermüdungslastfällen muss der dynamische Faktor vom Anwender bestimmt werden. Die Lastklassen und somit die Belastungen können vom Anwender über α - und β -Werte an die örtlichen Bedingungen der Brücke angepasst werden. [2, p. 29 ff.] [3, p. 2 ff.]

2.1.3 UNTERTEILUNG DER FAHRBAHN IN RECHNERISCHE FAHRSTREIFEN

Die Ermittlung der Fahrstreifenanzahl erfolgt unter Bekanntsein der Fahrbahnbreite w laut Tabelle 1.

Tabelle 1 Ermittlung der Fahrstreifenanzahl und-breite [2, p. 31]

| Fahrbahnbreite w | Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen | Breite eines rechnerischen Fahrstreifens w_i | Breite der verbleibenden Restfläche |
|---|--|--|-------------------------------------|
| $w < 5,4 \text{ m}$ | $n_i = 1$ | 3 m | $w - 3 \text{ m}$ |
| $5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$ | $n_i = 2$ | $\frac{w}{2}$ | 0 |
| $6 \text{ m} \leq w$ | $n_i = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$ | 3 m | $w - 3 \times n_i$ |
| ANMERKUNG Zum Beispiel ergibt sich für eine Fahrbahn von 11m die Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen zu $n_i = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right) = 3$. Die Breite der vorhandenen Restfläche beträgt: $11 - 3 \times 3 = 2 \text{ m}$. | | | |

Die Fahrbahnbreite w wird zwischen dem lichten Abstand der Schrammborde oder Rückhaltesystemen gemessen. Nicht mitberücksichtigt werden, falls vorhanden, Abstände zwischen fest eingebauten Rückhaltesystemen und Schrammborden des Mittelstreifens sowie die Eigenbreite dieser. Bei getrennten Richtungsfahrbahnen wird bei Anordnung eines fest angebrachten Rückhaltesystems entlang des Mittelstreifens eine getrennte Unterteilung der Fahrbahnen in Fahrstreifen vorgenommen. Bei abnehmbaren Rückhaltesystemen wird die gesamte Fahrbahnbreite in Fahrstreifen unterteilt. Die Anzahl der Fahrstreifen sowie deren Positionierung wird so gewählt, dass sich für das zu untersuchende Bauteil die ungünstigste Konstellation ergibt. Die rechnerischen Fahrstreifen sind keine realen Fahrstreifen, sondern dienen nur der Aufbringung der Lasten des jeweiligen Lastmodells. Die in Tabelle 1 errechnete Anzahl der Fahrstreifen stellt außerdem einen Maximalwert dar. Es kann auch eine geometrische Konstellation entstehen, bei der es mehr Restfläche und einen Fahrstreifen weniger gibt. In dieser Situation entspricht die Fahrstreifenanzahl $n-1$. Die Nummerierung der Fahrstreifen erfolgt hierarchisch nach Belastungsstärke. So wird der am stärksten belastete Fahrstreifen mit der Nummer 1 bezeichnet. Der am „i“-stärksten belastete Fahrstreifen wird folglich mit der Nummer i bezeichnet. Die Fahrstreifenbreite beträgt in der Regel 3 Meter außer bei Fahrbahnbreiten zwischen 5.4 und 6 Metern. Informationen diesbezüglich werden in Tabelle 1 veranschaulicht. [2, p. 30 ff.] [4, p. 24 ff.] [3, p. 3]

2.1.4 BESCHREIBUNG DER LASTMODELLE FÜR DEN GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT (ULS)

Die ÖNORM EN 1991-2 sieht für die Belastung von Straßenbrücken im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) aktuell vier Lastmodelle (LM) vor [2, p. 33]. Im Rahmen dieser Arbeit werden das LM1 und das LM3 näher untersucht.

2.1.4.1 LASTMODELL 1

Die EN 1991-2 beschreibt die Verkehrssituationen, welche vom LM1 abgedeckt werden, folgendermaßen:

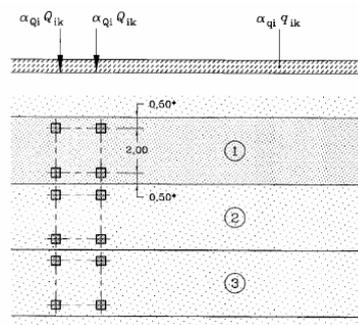
Mit dem LM1 soll der fließende Verkehr oder Stausituationen mit einer hohen Anzahl an LKWs abgedeckt werden. Im Allgemeinen werden bei Verwendung der Grundwerte die Einflüsse aus den in Anhang A definierten Sonderfahrzeugen bis zu 600 kN abgedeckt. [2, p. 34]

Das Lastmodell 1 kann für globale sowie für lokale Nachweise verwendet werden. Es besteht aus Doppelachslasten, dem sogenannten Tandemsystem (TS) und gleichmäßig verteilten Lasten, der sogenannten unified distributed load (UDL). Die Achslasten werden nur in den Fahrstreifen mit der Nummer 1 bis 3 aufgebracht. Die Flächenlast wird auf allen Fahrstreifen ungünstig aufgebracht. Die Stärke der Belastung hängt von der Fahrstreifennummer ab und ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Restfläche, welche nicht Teil der Fahrstreifen ist, wird ungünstig mit einer Restflächenlast belastet. Es muss immer die ungünstigste Konstellation aus Fahrstreifenanzahl, Fahrstreifenanordnung, Positionierung der Doppelachsen sowie der Flächenlast gefunden werden, um das zu untersuchende Bauteil am stärksten zu belasten. Pro Fahrstreifen ist nur eine vollständige Doppelachse anzusetzen. [2, p. 33 ff.] [3, p. 4]

In nachfolgender Tabelle werden die charakteristischen Werte ohne Berücksichtigung der α -Werte angegeben [2, p. 33 ff.]. Schematisch wird die Anwendung des LM1 in Abbildung 2 gezeigt.

Tabelle 2 Belastung der Fahrstreifen [2, p. 35]

| Stellung | Doppelachsen TS | Gleichmäßig verteilte Last |
|----------------------------------|------------------------|--|
| | Achslast Q_{ik} (kN) | q_{ik} (oder q_{rk}) (kN/m ²) |
| Fahrstreifen 1 | 300 | 9 |
| Fahrstreifen 2 | 200 | 2,5 |
| Fahrstreifen 3 | 100 | 2,5 |
| Andere Fahrstreifen | 0 | 2,5 |
| Verbleibende Restfläche q_{ik} | 0 | 2,5 |



Legende

- 1 Fahrstreifen Nr. 1 : $Q_{1k} = 300$ kN ; $q_{1k} = 9$ kN/m²
- 2 Fahrstreifen Nr. 2 : $Q_{2k} = 200$ kN ; $q_{2k} = 2,5$ kN/m²
- 3 Fahrstreifen Nr. 3 : $Q_{3k} = 100$ kN ; $q_{3k} = 2,5$ kN/m² 1,2 Abstand der Doppelachsen = 1,2 m 4
- 4 (*) Für $w_1 = 3$ m

Abbildung 2 Aufbringung der Lasten [2, p. 35]

Jede Achslast einer Doppelachse hat laut [2, p. 33] den charakteristischen Wert: $\alpha_{Qi}Q_{ki}$

Die Flächenlast in den Fahrstreifen hat laut [2, p. 34] den charakteristischen Wert: $\alpha_{qi}Q_{ki}$

Die Flächenlast in der Restfläche hat laut [2, p. 34] den charakteristischen Wert: $\alpha_{qri}Q_{rki}$

Die α -Werte sind Anpassungsfaktoren, welche in den nationalen Annexen endgültig festgelegt werden können. Im europäischen Dokument findet man hier lediglich Empfehlungen und Beschränkungen. [2, p. 33]

Als generelle Empfehlung für die Wahl der α -Faktoren findet man im Eurocode laut [2, p. 34]:

$$\alpha_{Qi} \geq 0,8$$

für $i \geq 2$, $\alpha_{qi} \geq 1$

Als Anmerkung zu den α -Werten im Eurocode findet man in der Norm sinngemäß:

Werden alle α -Werte mit 1.0 angenommen, so entspricht dies einem schweren internationalen Güterverkehr, bei welchem ein großer Anteil des Gesamtverkehrs aus schweren Fahrzeugen besteht. [2, p. 34]

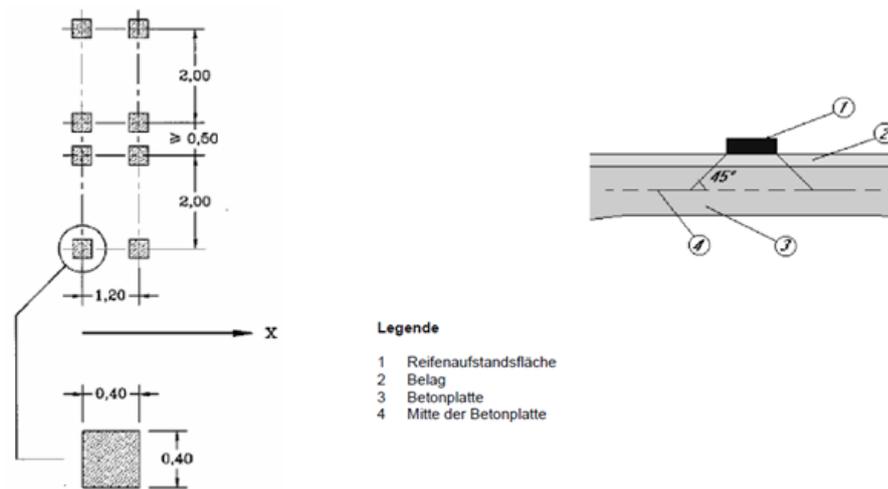


Abbildung 3 Lastausbreitung laut [2, p. 38] und geometrische Verhältnisse laut [2, p. 36]

Die geometrische Aufbringung des LM1 wird in Abbildung 3 veranschaulicht. Man erkennt, dass die Aufstandsflächen der Reifen als quadratische Fläche mit 0.4 Metern Seitenlänge angenommen werden. Der Achsabstand in Fahrtrichtung beträgt 1.2 und in Querrichtung 2.0 Meter. Für globale Nachweise werden die Lasten immer in der Mitte des Fahrstreifens aufgebracht. Für lokale Nachweise ist es erlaubt, wie ebenfalls in Abbildung 3 ersichtlich, die Fahrzeuge bis zu 0.5 Meter aneinander zu stellen. Für die Lastausbreitung wird, wie in Abbildung 3 veranschaulicht, vom Rand der Flächenlast ein Ausbreitungswinkel von 45 ° angenommen. [2, p. 35 ff.]

Es ist möglich, wenn lokale und globale Einflüsse getrennt untersucht werden können, laut [2, p. 36] eine von zwei Vereinfachungen zu treffen.

- 1) Die erste Vereinfachung beinhaltet das Entfernen der Doppelachse aus dem Fahrstreifen 3 und einem Hinzuaddieren deren Last zur Doppelachse des Fahrstreifens zwei.
- 2) Bei einer Feldlänge von 10 Metern oder mehr kann die Gesamtlast der Doppelachse im Schwerpunkt von dieser angenommen werden.

2.1.4.2 LASTMODELL 3

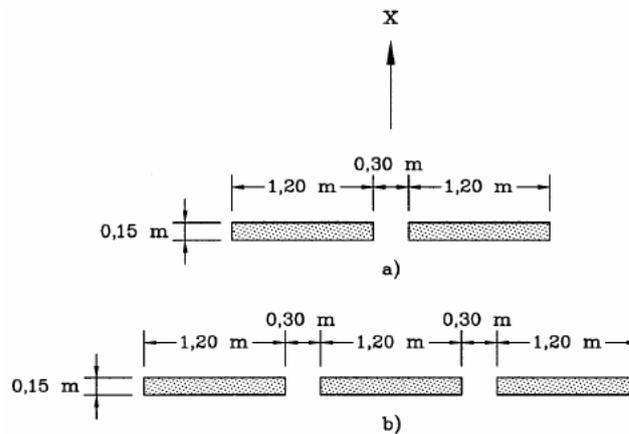
Beim LM3 handelt es sich um eine gleichzeitige Belastung der Brücke durch ein Sonderfahrzeug und das bereits erläuterte LM1. Der Eurocode definiert eine Vielzahl von Sondertransportern, zwischen welchen in den nationalen Anhängen gewählt werden kann. Die Modelle werden so bestimmt, dass sich abhängig vom Gesamtgewicht die Achszahl sowie die Achslast unterscheiden können. Die Tabelle mit Sonderfahrzeugen, welche sich im Anhang A befindet, wird in Tabelle 3 veranschaulicht. [2, p. 127 ff.] [3, p. 6]

Tabelle 3 Sonderfahrzeuge mit Achsabständen für das LM3 laut [2, p. 125] und [2, p. 126]

| Gesamtgewicht | Aufbau | Bezeichnung | Achse mit 150 kN | Achse mit 200 kN | Achse mit 240 kN |
|--|---|--|------------------------|--|--|
| 600 kN | 4 Achsen mit 150 kN | 650/ 150 | n= 4* 150 e= 1.50 m | | |
| 900 kN | 6 Achsen mit 150 kN | 900/ 150 | n= 6*150 e= 1.50 m | | |
| 1200 kN | 8 Achsen mit 150 kN oder 6 Achsen mit 200 | 1200/ 150 1200/ 200 | n= 8*150 e= 1.50 m | n= 6*200 e= 1.50 m | |
| 1500 kN | 10 Achsen mit 150 kN Oder 7 Achsen mit 200 kN +1 Achse mit 100 kN | 1500/ 150 1500/ 200 | n= 10*150 e= 1.50 m | n= 1*100+7*200 e= 1.50 m | |
| 1800 kN | 12 Achsen mit 200 kN Oder 9 Achsen mit 200 kN | 1800/ 150 1800/ 200 | n= 12*150 e= 1.50 m | n= 9*200 e= 1.50 m | |
| 2400 kN | 12 Achsen mit 200 kN Oder 10 Achsen mit 240 kN Oder 6 Achsen mit 200 kN+ 6 Achsen mit 200 kN | 2400/ 200 2400/ 240 2400/ 200/ 200 | | n= 12*200 e= 1.50 m n= 6*200+7*200 e=7*1.5+12+6*1.5 | n= 10*240 e= 1.50 m |
| 3000 kN | 15 Achsen mit 200 kN Oder 12 Achsen mit 240 kN+ 1 Achse mit 120 kN Oder 8 Achsen mit 200 kN + 7 Achsen mit 200 kN | 3000/ 200 3000/ 240 3000/ 200/ 200 | | n= 15*200 e= 1.50 m n= 8*200+7*200 e=7*1.5+12+6*1.5 | n= 1*120+12*240 e= 1.50 |
| 3600 kN | 18 Achsen mit 200 kN Oder 15 Achsen mit 240 kN Oder 9 Achsen mit 200 kN +9 Achsen mit 200 kN mit Abstand von 12 m | 3600/ 200 3600/ 240 3600/ 200/ 200 | | n= 18*200 e= 1.50 m | n= 15*240 e= 1.50 m n= 8*240+7*240 e=7*1.5+12+6*1.5 |
| Anmerkungen | | | | | |
| n Anzahl der Achsen multipliziert mit dem Gewicht (kN) jeder Achse in jeder Gruppe | | | | | |
| e Achsabstand (m) innerhalb und zwischen jeder Gruppe | | | | | |

In der Norm wird zwischen Achslasten von 150, 200 und 240 kN unterschieden. Dies ist für den Anwender relevant, da die geometrische Anordnung der Lasten von den Einzelachslasten abhängt. Bis zu einer Achslast von 200 kN ist das Sonderfahrzeug einspurig und verwendet nur einen rechnerischen Fahrstreifen. Bei einer

Achslast von 240 kN ragt das Fahrzeug in den benachbarten Fahrstreifen und nimmt zwei rechnerische Fahrstreifen ein. Die Einzelradlast hat im Gegensatz zum LM1 eine Aufstandsfläche von 0.15*1.2 m. Dies wird in Abbildung 4 veranschaulicht. [2, p. 127 ff.] [3, p. 6]

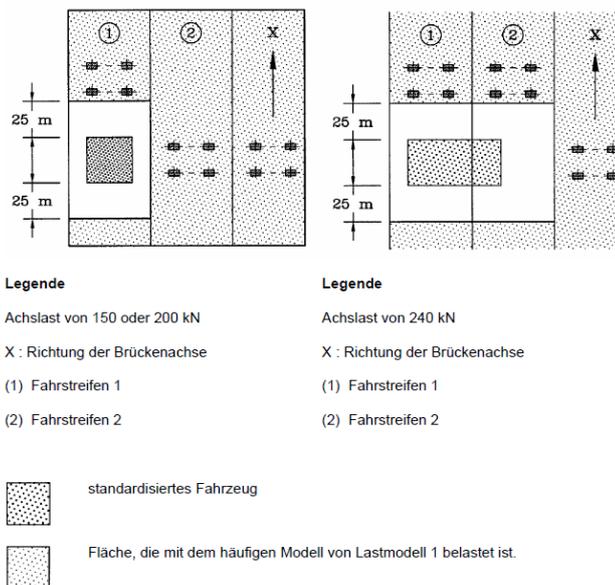


Legende

- x Richtung der Brückenachse
- a) Achsen mit 100 bis 200 kN
- b) Achsen mit 240 kN

Abbildung 4 Aufstandsflächen und Radanzahl im LM3 [2, p. 127]

Eine Regelung für das LM3, welche zusätzlich zum Sonderfahrzeug den üblichen Normalverkehr berücksichtigt, ist die gleichzeitige Wirkung des LM1. Dieses wirkt bis auf 25 Meter vor und hinter dem Sonderfahrzeug auf dem gesamten Brückentragwerk. Da das gemeinsame Wirken des Sonderfahrzeuges und des LM1 in voller Größe unrealistisch ist, bietet die Norm die Möglichkeit das LM1 in abgeschwächter Form anzuwenden. Die konkreten Faktoren zur Verminderung des LM1 in Kombination mit dem Sonderfahrzeug dürfen in den nationalen Anhängen bestimmt werden. Laut [2, p. 129] wird empfohlen, die häufigen Werte des LM1 zu verwenden. Die Aufbringung des LM3 am Brückentragwerk wird in Abbildung 5 veranschaulicht. Laut Norm ist ein dynamischer Beiwert, welcher abhängig von der Überquerungsgeschwindigkeit der Brücke ist, vorgesehen. Der dynamische Beiwert darf im nationalen Anhang definiert werden. [2, p. 127 ff.] [3, p. 6]



Legende

- Achslast von 150 oder 200 kN
- X : Richtung der Brückenachse
- (1) Fahrstreifen 1
- (2) Fahrstreifen 2

Legende

- Achslast von 240 kN
- X : Richtung der Brückenachse
- (1) Fahrstreifen 1
- (2) Fahrstreifen 2



standardisiertes Fahrzeug



Fläche, die mit dem häufigen Modell von Lastmodell 1 belastet ist.

Abbildung 5 Gemeinsames Wirken von LM1 und LM3 [2, p. 129]

2.1.5 FUßGÄNGERLASTEN UND KOMBINATIONSTABELLEN

Im 5 Kapitel der EN-1991-2 werden Lasten für Fußgänger und Radfahrerverkehr auf Fußgängerbrücken definiert. Wichtig ist hierbei die Definition von Fußgängerbrücken. Neben Brücken die nur für Menschen und Radfahrer vorgesehen sind, zählen auch Teile von Straßenbrücken, welche nicht Teil der Fahrbahn w sind und durch ein Gelände begrenzt werden, laut Norm auch als Fußgängerweg. Somit ist bei der Untersuchung der Verkehrslasten der zuvor definierte Bereich gemäß dem Kapitel der Fußgängerbrücken zu belasten. Die drei verschiedenen Belastungsmodelle für Fußgängerbrücken gliedern sich in eine Gleichlast von 5 kN/m^2 , in eine Einzellast mit 0.1 Meter quadratischer Aufstandsfläche und einem Betrag von 10 kN und einer Belastung durch ein Dienstfahrzeug [2, p. 58]. Für die Kombination der Fußgängerlasten mit den Lastmodellen für Straßenverkehr wird nur die Flächenlast vorgesehen. Diese stellt für die Kombination mit dem LM1 nicht den charakteristischen Wert dar, sondern einen Kombinationswert laut Tabelle 4. [2, p. 41].

Tabelle 4 Lastgruppen [2, p. 41]

| Belastungsart | | Fahrbahn | | | | | Fußweg oder Radweg | |
|--|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|--|---|--------------------------------------|
| | | Vertikallasten | | | Horizontallasten | | Nur vertikale Lasten | |
| Verweise | | 4.3.2 | 4.3.3 | 4.3.4 | 4.3.5 | 4.4.1 | 4.4.2 | 5.3.2 (1) |
| Lastmodell | | LM1 (TS und UDL System) | LM2 (Einzelachsen) | LM3 (Sonderfahrzeuge) | LM4 (Menschenansammlungen) | Kräfte aus Anfahren und Bremsen ^a | Fliehkräfte und Seitenkräfte ^a | gleichmäßig verteilte Last |
| Lastgruppen | gr1a | charakteristischer Wert | | | | | | Kombinationswert ^b |
| | gr1a | | charakteristischer Wert | | | | | |
| | gr2 | häufiger Wert | | | | charakteristischer Wert | charakteristischer Wert | |
| | gr3 ^d | | | | | | | charakteristischer Wert ^c |
| | gr4 | | | | charakteristischer Wert | | | charakteristischer Wert |
| | gr5 | siehe Anhang A | | charakteristischer Wert | | | | |
| vorherrschender Einwirkungsanteil (gekennzeichnet als zur Gruppe gehöriger Bestandteil) | | | | | | | | |
| ^a Darf im Nationalen Anhang festgelegt werden (für die erwähnten Fälle). ^b Darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Der empfohlene Wert beträgt 3 kN/m^2 . ^c Siehe 5.3.2.1(2). Es sollte nur ein Fußweg belastet werden, falls dies ungünstiger ist als der Ansatz von zwei belasteten Fußwegen. ^d Diese Gruppe bleibt unberücksichtigt, wenn gr4 angesetzt wird. | | | | | | | | |

Der empfohlene Wert beträgt laut Norm 3.0 kN/m^2 . Der endgültige Wert darf im nationalen Anhang bestimmt werden. Die markierten Lastgruppen werden in dieser Arbeit untersucht. [2, p. 41]

2.2 ÖNORM B 1991-2 (2011-04-15)

Für den im Rahmen dieser Arbeit relevanten Teil der Norm, den Vertikallasten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit, werden alle Empfehlungen aus dem nationalen Anhang übernommen. Das bedeutet, dass für das LM1 und LM2 alle α - und β -Werte mit 1.0 angesetzt werden. Für das LM3 wird das Sonderfahrzeug mit einem Gesamtgewicht von 3000 kN und 15 Achsen mit der Bezeichnung 3000/200 gewählt. Weiters überquert das Sonderfahrzeug im LM3 die Brücke mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h, weshalb der dynamische Beiwert bei 1.0 belassen wird. Für gleichzeitiges Wirken des LM1 mit dem Sonderfahrzeug sollen die häufigen Werte verwendet werden. Diese errechnen sich durch Multiplikation der charakteristischen Werte mit dem Wert Ψ_1 und werden in folgender Tabelle veranschaulicht. [3] [5, p. 7]

Tabelle 5 Ψ_1 Werte für die häufigen Werte des LM1 [3, p. 27]

| Last | Ψ_1 |
|------|----------|
| TS | 0.75 |
| UDL | 0.40 |

Der Größe der Fußgängerlasten wird mit 2.5 kN/m^2 festgelegt. [5, p. 8]

2.3 DIN EN 1991-2/NA : 2012 08

Der deutsche Anhang wird nur für die im Rahmen der Diplomarbeit relevanten Teile erläutert. Hier unterscheiden sich die α -Werte für das UDL System hingegen zur Basisnorm. Die α_Q -Faktoren für die Doppelachsen werden mit 1.0 übernommen. Die α_q Werte für die Gleichlasten hingegen sind im deutschen Annex höher definiert. Die Faktoren und die daraus resultierenden Flächenlasten werden in Tabelle 6 veranschaulicht. [4, p. 25]

Tabelle 6 Resultierende Flächenlasten und deren α -Werte zufolge des deutschen Anhangdokumentes [4, p. 25]

| i | α_{qi} | q_i | $\alpha_{qi} \cdot q_i$ |
|---|---------------|-------|-------------------------|
| 1 | 1.33 | 9.0 | 12.0 |
| 2 | 2.40 | 2.5 | 6.0 |
| 3 | 1.20 | 2.5 | 3.0 |
| i | 1.20 | 2.5 | 3.0 |

Die Größe der Fußgängerlasten wird mit 3.0 kN/m^2 festgelegt [4, p. 26]

2.4 ÖNORM B 4002 (1970)

Der letzte Stand der ÖNORM B 4002 stammt aus dem Jahr 1970 und war zur damaligen Zeit die Bemessungsgrundlage von Brückentragwerken. Die Brücken werden je nach ihrer Tragfähigkeit in zwei Klassen unterteilt, wobei Brücken der Klasse 1 gemäß der ÖNORM stärker belastet werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden nur die Belastungen der Klasse 1 untersucht. [6, pp. 27, 28] [7]

2.4.1 DYNAMISCHE BEIWERTE

Dynamische Beiwerte sind in der ÖNORM B 4002 zusätzlich zu berücksichtigen. Alle Verkehrslasten sind mit diesem Beiwert zu multiplizieren. Die Bestimmung der dynamischen Faktoren ist laut [7, p. 4] von den folgenden Parametern abhängig:

- Anzahl der Felder
- Mittelwert der Feldlängen der Brücke
- Material des Tragwerks

| | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----|-----|-----|-----------|----------------|
| Längsträger | Abstand der Querträger | | | | | |
| Querträger ohne Trägerrostwirkung | Abstand der Hauptträger | | | | | |
| Querträger mit Trägerrostwirkung | Stützweite der Hauptträger | | | | | |
| Querträgerkragarm | wie Querträger | | | | | |
| Konsolen an Endquerträgern | min l_φ | | | | | |
| Hauptträger (Balken, Bogen) auf 2 Stützen | Stützweite des Trägers | | | | | |
| Hauptträger, Durchlaufträger über n Öffnungen mit $l_m = \frac{1}{n} (l_1 + l_2 + \dots + l_n)$ | n = | 2 | 3 | 4 | 5 u. mehr | Öffnungen |
| | $l_\varphi =$ | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | $\times l_m^*$ |
| Hauptträger (Gelenkträger mit Kragarm) | Stützweite des Trägers | | | | | |
| Hauptträger (Einhängeträger) | Stützweite des Eihängeträgers | | | | | |
| *) Ist l_φ ein kleinerer Wert als max l, so ist max l zu nehmen. | | | | | | |

Abbildung 6 Bestimmung der maßgebenden Längen für die dynamischen Beiwerte [7, p. 4]

| $l\varphi$ in mm | 0 | 10 | 30 | 50 | 70 |
|--|------|------|------|------|------|
| Fahrbahnträger, unmittelbar belastete Hauptträger, Plattentragwerke | 1,40 | 1,30 | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| mittelbar belastete Hauptträger (z. B. Trogbrücken, Bogenbrücken mit aufgeständerter Fahrbahn) | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 1,00 |
| Bogenbrücken und Gewölbe mit voller Überschüttung oder Aufmauerung | 1,15 | 1,08 | 1,04 | 1,00 | 1,00 |
| Fahrbahnplatten, Hängestangen, Stützen | 1,40 | | | | |

Abbildung 7 Bestimmung des dynamischen Beiwertes in Abhängigkeit von $l\varphi$ [7, p. 4]

2.4.2 VERKEHRSLASTEN

Die Lasten und deren Aufbringung werden im nachfolgenden Bild erklärt.

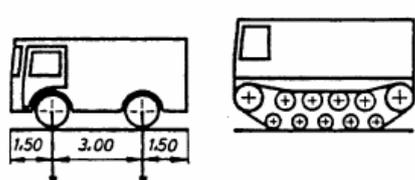
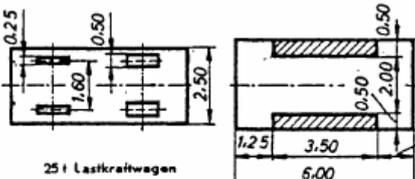
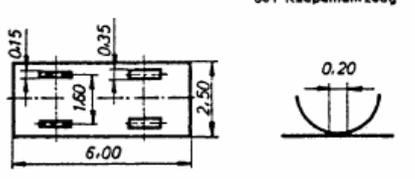
| | | Brückenklassen | | I | | II |
|--|---|------------------|-------------------|------------------|-----------|------|
| | | | | | | |
|  <p>25 t Lastkraftwagen</p> | Gesamtgewicht | | t | 25 | 16 | 16 |
| | Vorderrad | | | 4 | 2,5 | 2,5 |
| | Hinterrad | | | 8,5 | 5,5 | 5,5 |
| | Erstlast | | | t/m ² | 1,67 | 1,07 |
|  <p>60 t Raupenfahrzeug</p> | Gesamtgewicht | | t | 60 | — | |
| | Raupenlast | | t/m ² | 17,14 | — | |
| | Erstlast | | t/m ² | 7,33 | — | |
|  <p>16 t Lastkraftwagen</p> <p>Für alle Raddrücke</p> | auf Brücken mit einer Fahrbahnbreite $B < 10$ m je Tragwerk und einer Stützweite l von | $l \leq 50$ | kg/m ² | 500 | 400 | |
| | | $50 \leq l < 70$ | | 750 — 5 l | 600 — 4 l | |
| | | $70 < l$ | | 400 | 320 | |
| | auf Brücken mit einer Fahrbahnbreite $B \geq 10$ m je Tragwerk und einer Stützweite l von | $l \leq 30$ | kg/m ² | 500 | 400 | |
| $30 < l < 70$ | | 650 — 5 l | | 520 — 4 l | | |
| $70 < l$ | | 300 | | 240 | | |
| Bei Durchlaufträgern ist für l der um 10 % erhöhte Mittelwert der Stützweiten, höchstens jedoch die größte Stützweite einzusetzen. | | | | | | |

Abbildung 8 Lastbilder der ÖNORM B 4002 [7, p. 6]

Die Norm sieht für die Belastung von Straßenbrücken zwei auf benachbarten Fahrstreifen fahrende LKWs mit je einer Last von 25 Tonnen vor. Auf allen anderen Fahrstreifen befahren LKWs mit einem Gesamtgewicht von 16 Tonnen die Brücke. Die Fahrstreifenbreite beträgt laut der ÖNORM B 4002 2.5 Meter. Alle Fahrzeuge sind auf ihren Fahrstreifen gleichzeitig so zu positionieren, dass sich für das zu untersuchende Bauteil die größte Belastung ergibt. Das Überqueren der Brücke nebeneinander ist nicht notwendig, außer wenn dies die ungünstigste Beanspruchung mit sich bringt. Zusätzlich zu den Fahrzeugen wird eine gleichmäßig verteilte Flächenlast zwischen 300 und 500 kg/m² angesetzt. Diese Last wirkt bis auf die durch den LKW eingenommene Fläche auf dem gesamten Fahrstreifen und muss ungünstig aufgebracht werden. Die genaue Bestimmung der Gleichlast erfolgt über Tabellen in der Norm und ist abhängig von der Brückengeometrie. Weiters muss die Brücke einem Raupenfahrzeug mit einem Gesamtgewicht von 60 Tonnen im Alleingang standhalten können. [6, pp. 27, 28] [7, p. 5]

Zu unterscheiden ist zwischen LKWs mit einem Gesamtgewicht von 16 und 25 Tonnen. Laut ÖNORM B 4002 ist die Belastung durch die Hinterachse höher als jene durch die Vorderachse des Fahrzeuges. Auch die Radaufstandsflächen unterscheiden sich je nach Fahrzeug. Die Aufstandsfläche des 60 Tonnen schweren Raupenfahrzeuges beträgt 3.5*0.5 Meter je Seite. Alle Lasten, welche auf der Fahrbahn wirken, werden mit

dem dynamischen Beiwert multipliziert. Die Fußgängerlasten werden an den gleichen Stellen wie in den Eurocodes aufgebracht und entsprechen einer Flächenlast von 500 kg/m^2 . [7, p. 6 ff.]

3 PLATTENBALKENBRÜCKEN

3.1 ALLGEMEINES

In diesem Abschnitt werden Plattenbalkenbrücken erläutert. Neben allgemeinen Erläuterungen und geschichtlichen Aspekten wird das Tragverhalten auch an eigenen Beispielen aus Sofistik näher beschrieben.

3.1.1 DER BEGRIFF PLATTENBALKENBRÜCKE

Unter einer Plattenbalkenbrücke versteht man eine Balkenbrücke in Stahl- oder Spannbetonbauweise, deren Hauptträger den Querschnitt eines Plattenbalkens besitzen. Man unterscheidet hierbei zwischen dem offenen Fahrbahnquerschnitt mit zwei oder mehreren Hauptträgern oder einem geschlossenen Fahrbahnquerschnitt (Kastenquerschnitt), wobei sich der geschlossene Querschnitt nur bei der Abtragung von vertikalen Lasten wie eine Plattenbalkenbrücke verhält. Das weitere Tragverhalten von geschlossenen Querschnitten unterscheidet sich zu offenen Querschnitten deutlich, jedoch wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter darauf eingegangen [8, p. 87]. Bei Balkenbrücken stellt der Fahrbahnquerschnitt bereits das Gesamttragwerk des Überbaus dar [8, p. 25]. Erst durch eine zusätzliche Konstruktion, welche den Fahrbahnquerschnitt unterstützt, ändert sich in Abhängigkeit der gewählten Hilfskonstruktion die Bezeichnung der Brücke. Wird zum Beispiel als Hilfskonstruktion ein Bogen über der Brücke gewählt, welcher mittels Hängern mit den Hauptträgern des Fahrbahnquerschnittes verbunden wird, bezeichnet man dies dann als Bogenbrücke. Analog dazu gibt es auch Schrägseilbrücken und Hängeseilbrücken. [8] [4] [9]

3.1.2 GESCHICHTLICHES/ ALLGEMEINES

Es wird darauf hingewiesen, dass es bei der geschichtlichen Erläuterung nicht ausschließlich um Plattenbalkenbrücken geht. Die ersten auf diese Weise gebauten Brücken waren Balken- und Plattenbrücken.

Die Entwicklung von Stahlbetonbrücken geht Hand in Hand mit der Entwicklung des Stahlbetons, weshalb auch diese kurz erläutert wird. Der Beginn der Stahlbetonbauweise hatte seine Anfänge im frühen 19. Jahrhundert. Es gab zum damaligen Zeitpunkt mehrere Urheber, welche den neuen Baustoff für verschiedene Anwendungsgebiete bereits patentieren ließen. Zum damaligen Zeitpunkt erkannte man noch nicht das Potential, welches die neue Erfindung für das Bauwesen mit sich brachte. So meldete zum Beispiel der Franzose A. Lambot im Jahr 1855 ein Patent für die Herstellung von Booten aus „Eisenbeton“ an. Der Erste der wirklich die Möglichkeiten des Baustoffes erkannte war der französische Gärtner Joseph Mounier, welcher im Jahr 1867 einen mit Draht verstärkten Blumenkübel patentieren ließ. Im Jahr 1875 erbaute er anschließend aufgrund eines im Jahr 1873 erworbenen Zusatzpatentes die erste Stahlbetonbrücke auf einem Landsitz bei Chazelet mit einer Spannweite von 16,5 Metern. Aufgrund der Errungenschaften von Mounier konnte diese Bauweise in den nächsten Jahrzehnten in Europa Fuß fassen. [10, p. 6 ff.]



Abbildung 9 Erste Stahlbetonbrücke beim Landsitz Chazelet [10, p. 6]

Mit Hilfe der weiteren Arbeiten von Francois Hennerbique (1842-1931) und Emil Mösch, welche sich intensiv mit der Anordnung der Stähle im Beton beschäftigten, wurde die Stahlbetonbauweise und somit auch der Brückenbau revolutioniert. [10, p. 6 ff.]

3.2 ÜBLICHE ANWENDUNGSBEREICHE

Die nachfolgenden Werte beziehen sich auf offene Fahrbahnquerschnitte für Stahlbetontragwerke.

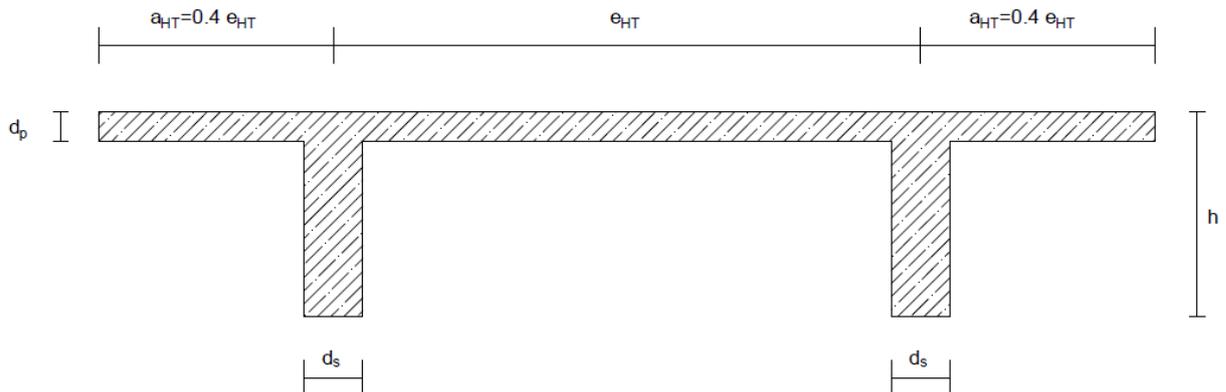


Abbildung 10 Anwendungsgrenzen in Querrichtung [8, p. 26]

3.2.1 ÜBLICHE ABMESSUNGEN

In Längsrichtung sind laut [8, p. 33] folgende Anwendungsgrenzen üblich.

| | |
|----------------------|---|
| Maximale Stützweite: | $L = 20-35 \text{ m}$ |
| Schlankheit: | $L/h = 10-12$; $L/h = 15-18$ vorgespannt |

3.2.2 ÜBLICHE ABMESSUNGEN IN QUERRICHTUNG

Die Begrenzungen in Querrichtung laut [8, p. 33] werden in diesem Abschnitt dargestellt.

| | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| e_{HT} max unvorgespannt: | 6 m |
| e_{HT} max vorgespannt: | 10 m |
| a_{HT} max unvorgespannt: | 3-3,5 m |
| d_p : | $13 + 2 e_{HT} > 20 \text{ cm}$ |
| d_s : | 40-45 cm |

3.3 TRAGVERHALTEN VON PLATTENBALKENBRÜCKEN

Im Nachfolgenden wird das vertikale Tragverhalten von Plattenbalkenbrücken erläutert. Die Erläuterungen beziehen sich auf offene Querschnitte mit zwei oder mehr Hauptträgern. Bei Plattenbalkenbrücken erfolgt die Abtragung in Längsrichtung über eine reine Balkenwirkung. Der Steg des Plattenbalkens führt zu einer lokalen Erhöhung der Querschnittshöhe, welche wiederum zu einer Erhöhung der Steifigkeit und somit Tragfähigkeit führt. Im Vergleich zu einer ganzheitlichen Erhöhung der Plattendicke ist diese Lösung günstiger und erlaubt Einsparungen beim Eigengewicht. Voraussetzung für die Wirkung des Plattenbalkens ist ein kraftschlüssiger

Verbund zwischen Steg und Platte, welcher bei Ort betonbauweise durch das gemeinsame Betonieren und einer richtigen Bewehrungswahl sichergestellt werden muss. [9, p. 183 u. 192]

Das Tragverhalten der gesamten Plattenbalkenbrücke hängt weiters von der Querverteilung, der Anzahl der Stege und Queraussteifungen ab. Diese einzelnen Einflussfaktoren werden in den nächsten Unterkapiteln näher erläutert. [8, p. 90]

3.3.1 QUERVERTEILUNG

Es sei darauf hingewiesen, dass die nachfolgenden Erläuterungen für offene Querschnitte mit mehr als zwei Hauptträgern gelten.

Die Querverteilung ist eine Aktivierung anderer, nicht belasteter Hauptträger in Abhängigkeit von der Plattendicke. Dies bedeutet, dass ein direkt belasteter Hauptträger nicht 100 % der Last übernimmt, sondern durch die Steifigkeit der Platte einen Teil der Last an die anderen Träger abgibt. So kann man festhalten, dass bei einer schlanken Platte die Querverteilung eine kleinere Rolle spielt, wohingegen eine sehr dicke Platte größeren Einfluss auf die Querverteilung hat. [8, p. 90] [4, p. 59 ff.]

Im Nachfolgenden soll dies mit Ergebnissen aus dem Programm Sofistik bestätigt werden. Man erkennt, dass bei dünnen Platten die Querverteilung nur wenig ausgeprägt ist. Dies bedeutet, dass die Last hauptsächlich in dem belasteten Hauptträger bleibt. Mit zunehmender Plattendicke und bei gleichbleibender Gesamthöhe des Querschnittes ändert sich dies und es stellt sich eine deutliche Quertragwirkung ein. Das System zur Veranschaulichung der Querverteilung ist ein Plattenbalkenquerschnitt mit vier Hauptträgern mit einem Achsabstand von 4.0 Metern. Die seitliche Auskrägung beträgt konventionelle 40 % des Regelachsabstandes.

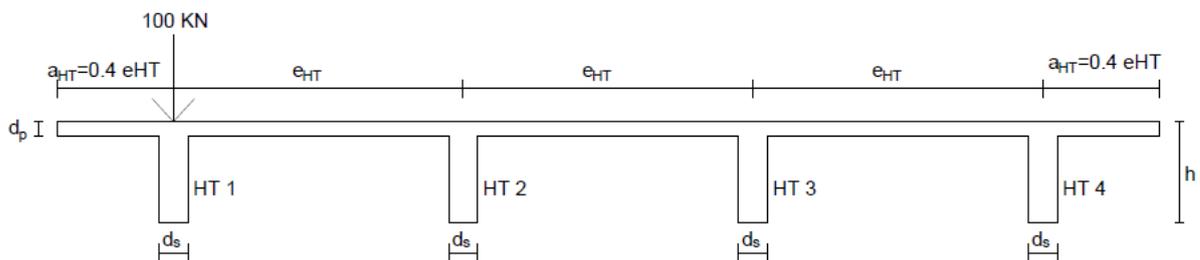


Abbildung 11 Querschnitt zur Veranschaulichung der Wirkung der Querverteilung

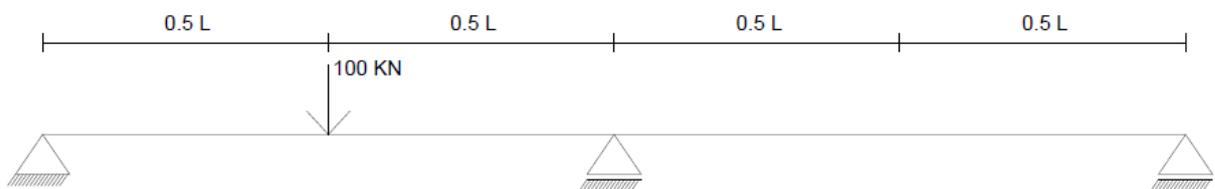


Abbildung 12 Längssystem zur Veranschaulichung der Wirkung der Querverteilung

Das Längssystem ist ein Zweifeldträger mit einer Gesamtlänge von 40 Metern und einer Feldlänge von jeweils 20 Metern. Die Belastung besteht aus einer punktuellen Einzellast von 100 kN in Feldmitte des ersten Feldes genau über dem linken Randhauptträger. Die Gesamthöhe des Plattenbalken wird mit einem L/h Verhältnis von 15 berechnet und beträgt somit 1.33 Meter. Die effektive Breite b_{eff} wird vom Programm automatisch erfasst und wird hier nicht näher erläutert.

Das System in Sofistik zur Veranschaulichung der Querverteilung wird in Abbildung 13 und in Abbildung 14 gezeigt.

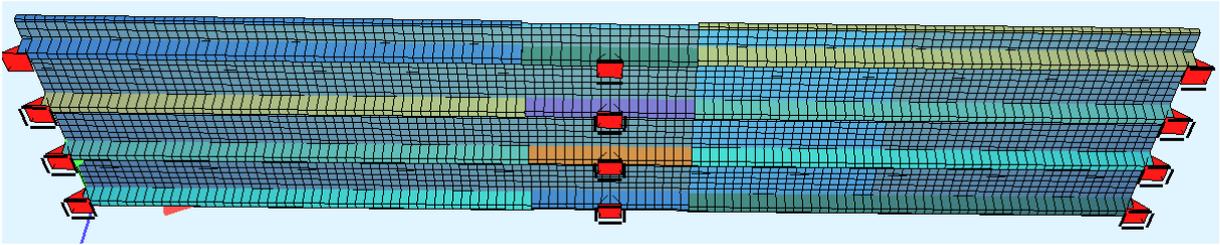


Abbildung 13 System für die Untersuchung des Tragverhaltens in Sofistik in der Untersicht

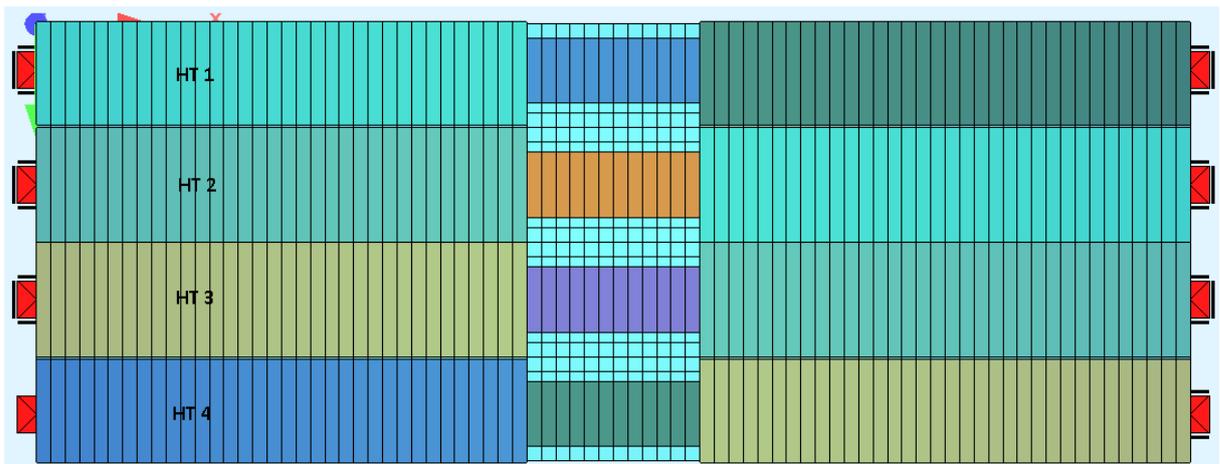


Abbildung 14 System zur Untersuchung des Tragverhaltens im Grundriss

Es werden drei Systeme mit unterschiedlichen Plattendicken untersucht und anschließend die Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 7 Plattendicken zur Untersuchung der Querverteilung

| System | Plattendicke |
|----------|--------------|
| System 1 | 10 cm |
| System 2 | 30 cm |
| System 3 | 50 cm |

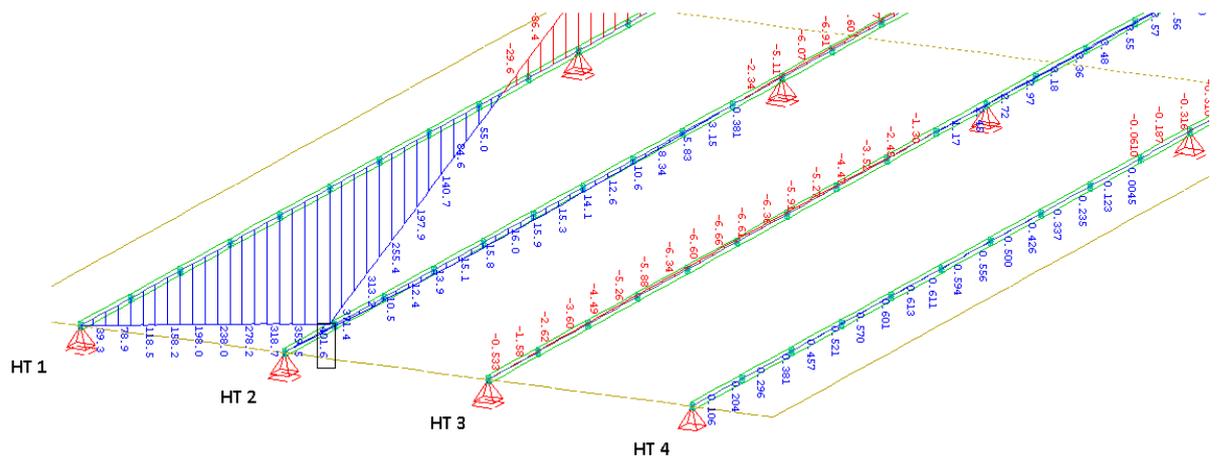


Abbildung 15 Momentenverläufe in den Hauptträgern bei System 1 ($d_p=10\text{cm}$)

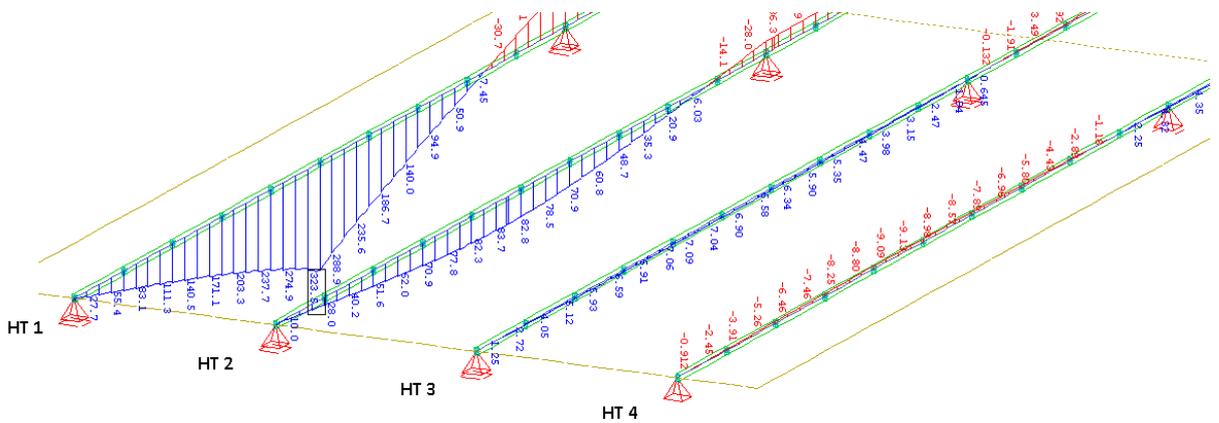


Abbildung 16 Momentenverläufe in den Hauptträgern bei System 2 ($d_p=30\text{cm}$)

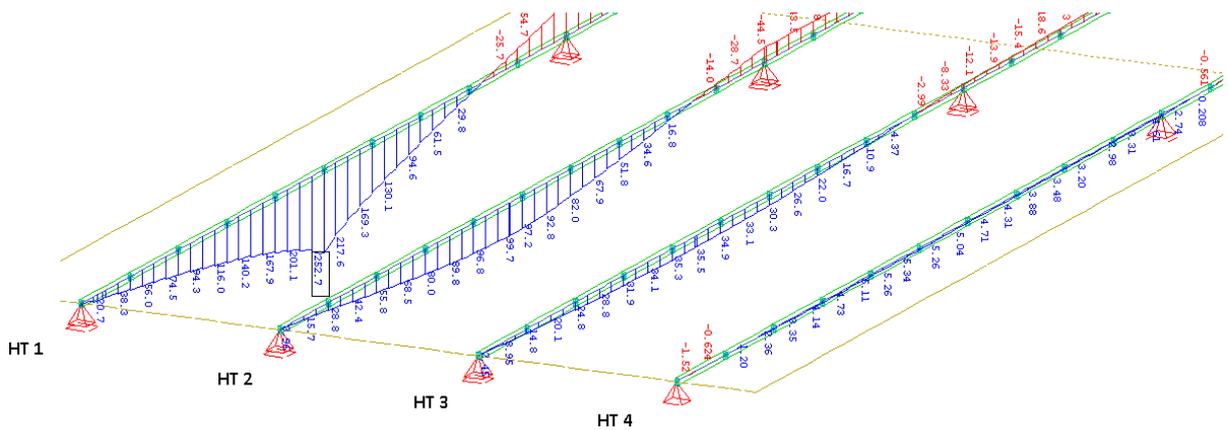


Abbildung 17 Momentenverläufe in den Hauptträgern bei System 3 ($d_p=50\text{cm}$)

Man erkennt, dass mit zunehmender Plattendicke die anderen Hauptträger sich stärker an der Lastabtragung beteiligen. Es wird nun genau in Feldhälfte ein Schnitt normal zur Brückenlängsachse gelegt und die Momente für jeden Hauptträger und jedes System abgelesen und tabellarisch dargestellt.

Tabelle 8 Unterschiede in den Momenten bei Variation der Plattendicke

| | Plattendicke | HT 1 | HT 2 | HT 3 | HT 4 |
|--------|--------------|-------|------|------|------|
| Syst.1 | 10 cm | 401.6 | 16.0 | -6.7 | 0.6 |
| Syst.2 | 30 cm | 323.5 | 83.7 | 7.1 | -9.1 |
| Syst.3 | 50 cm | 252.7 | 99.7 | 35.0 | 5.2 |

3.3.2 QUER AUSSTEIFUNGEN

Man unterscheidet bei Queraussteifungen zwischen Querverbänden, Querrahmen und Querscheiben. Für den Betonbau werden meistens Querscheiben verwendet. [8, p. 41 ff.]

Queraussteifungen haben die Aufgabe, an lokalen Stellen eine querverteilende Wirkung für das Gesamtsystem zu erzielen. Das bedeutet, dass wenn der Abstand zwischen den Queraussteifungen sehr klein ist und gegen 0 geht, dies einer durchgehend dicken Platte entsprechen würde. In der Regel werden jedoch nur 1 bis 3 Queraussteifungen je Feld angeordnet. Im Feldbereich handelt es sich im Betonbau um Querscheiben, welche nicht mit der Fahrbahnplatte verbunden sind. Auf diese Weise werden in der Platte zusätzliche Biegebeanspruchungen vermieden. Zur besseren Aufnahme der Querkräfte werden in den Auflagerbereichen auch Querscheiben angeordnet. In den Widerlagern werden die Scheiben auch monolithisch mit der Platte verbunden. In den Stützbereichen erfolgt die gleiche Ausführung der Querscheiben wie im Feldbereich [9, p. 183]. Einen weiteren Grund für die Ausführung von Querscheiben bei Innenauflägern stellt die spätere Erleichterung bei einem Lagerwechsel dar. [4, p. 64]

Die Wirkung von Queraussteifungen wird am gleichen System wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben. Diesmal wird in den Feldmitten eine Queraussteifung als Stab, welcher alle Hauptträger miteinander verbindet, angeordnet. Es wird wieder in der Feldmitte des äußersten Hauptträgers (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12) eine Einzellast von 100 kN aufgebracht und die Übertragung der Kräfte auf die anderen Träger gezeigt. Es wird veranschaulicht, wie die Lastabtragung gegen die Werte aus den Engesser Tabellen konvergiert [8, p. 93], welche in Abbildung 24 ersichtlich sind. Der Querschnitt des Querträgers wird als Rechteckprofil mit 50 cm Breite und der gleichen Höhe wie die Stege der Hauptträger definiert. Anschließend wird die Biegesteifigkeit der Querträger verändert, indem der E-Modul auf einen hohen Wert gestellt wird, da die Werte nach Engesser auch Queraussteifungen mit unendlicher Biegesteifigkeit voraussetzen. Zuerst wird die Plattenbalkenbrücke wie bereits zuvor ohne Querscheibe ausgebildet. Die Momentenbelastung, die sich daraus ergibt, wird in Abbildung 18 gezeigt.

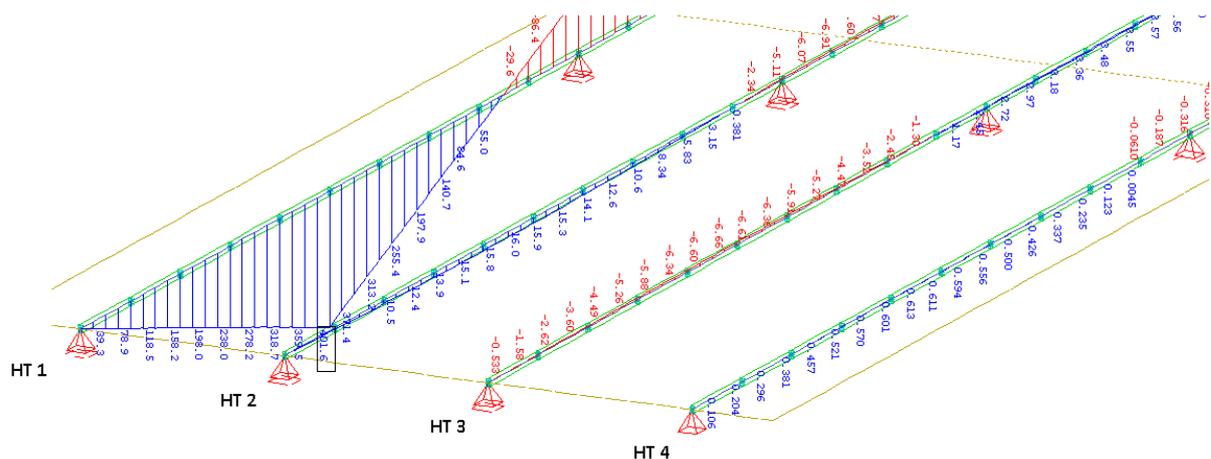


Abbildung 18 Momentenverläufe in den Hauptträgern

Die Momente in Feldmitte entsprechen dem bereits zuvor gezeigten System 1 ohne Querverteilung.

Tabelle 9 Momente ohne Queraussteifung

| Keine Queraussteifungen | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|-------|
| HT 1 | HT 2 | HT 3 | HT 4 | Summe |
| 401.6 | 16.0 | -6.7 | 0.4 | 411.3 |
| 97.7 % | 3.9 % | -1.6 % | 0.1 % | 100 % |

Nun wird das System mit einer Querscheibe mit einem E-Modul von 33000 MPa in Abbildung 19 gezeigt.

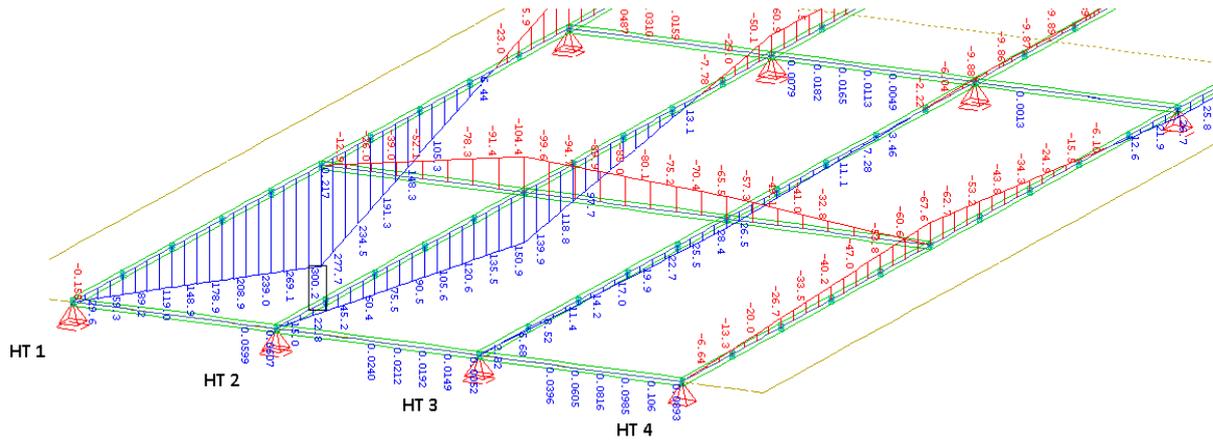


Abbildung 19 Momentenverlauf bei Queraussteifung mit E= 33000 MPa

Tabelle 10 Momente bei einer Queraussteifung mit normalem E-Modul

| | Querscheibe bei E = 33000 MPa | | | | Summe |
|---------------------------------|-------------------------------|-------|------|--------|-------|
| | HT 1 | HT 2 | HT 3 | HT 4 | |
| $M_{\text{Modell}}[\text{kNm}]$ | 300.2 | 150.9 | 28.4 | -67.6 | 411.9 |
| Prozent _{Modell} | 73.2% | 36.8% | 6.8% | -16.8% | 100% |

Das Tragverhalten für eine unendliche Biegesteifigkeit der Queraussteifungen wird in Abbildung 20 veranschaulicht.

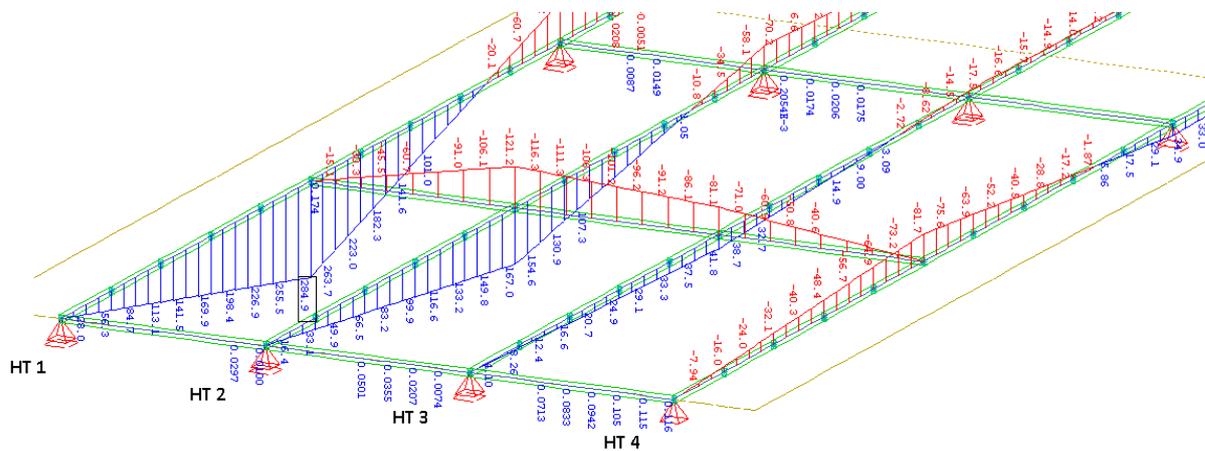


Abbildung 20 Queraussteifung mit E= ∞

Tabelle 11 Momente bei Queraussteifungen mit $E = \infty$

| | Querscheibe mit $E = \infty$ | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|-------|-------|--------|-------|
| | HT 1 | HT 2 | HT 3 | HT 4 | Summe |
| M_{Modell} [kNm] | 284.9 | 167.0 | 41.8 | -81.7 | 412 |
| Prozent _{Modell} | 69.5% | 40.7% | 10.0% | -20.2% | 100% |
| Prozent _{Engesser} | 70.0% | 40.0% | 10.0% | -20.0% | 100% |

Man erkennt, dass die Schnittkräfte gegen die Werte aus den Engesser Tabellen konvergieren. Durch die sehr hohe Biegesteifigkeit der Queraussteifung wird an der lokalen Stelle eine Durchbiegung verhindert, sodass die Platte an dieser Stelle nur eine Schrägstellung aufweist und w' , die Verdrehung, über die ganze Länge konstant bleibt. Das Moment wird vom linken Hauptträger aus immer um einen konstanten Betrag kleiner. Die Quereinflusslinie stellt bei diesem System somit eine Gerade dar. Die Tabellen nach Engesser werden im Kapitel „Möglichkeiten der Modellbildung“ näher erläutert.

3.3.3 UNTERSCHIED ZWISCHEN ZWEI ODER MEHREREN HAUPTTRÄGERN [8]

Das in den vorherigen Kapiteln beschriebene Tragverhalten bezieht sich primär auf offene Fahrbahnquerschnitte mit mehr als zwei Hauptträgern. In diesem Unterkapitel soll nun erklärt werden, wieso die dort erläuterten Effekte nicht direkt auf Fahrbahnquerschnitte mit zwei Hauptträgern umsetzbar sind.

Die Begründung liegt darin, dass Fahrbahnquerschnitte mit zwei Hauptträgern in Querrichtung annähernd statisch bestimmt sind. Betrachtet man einen Schnitt quer zur Brückenlängsachse, so erhält man einen Einfeldträger mit zwei seitlichen Auskragungen. Die Lagersituation stellt gelenkige Auflager mit zusätzlichen Drehfedern dar (siehe Abbildung 23). Die Drehfedern entstehen durch die Torsionssteifigkeit der Stege der Hauptträger. Diese Drehfeder ist die einzige mögliche Ursache um einen Teil der Last auf den anderen Hauptträger zu übertragen und ist im Allgemeinen vernachlässigbar klein. Ein einfeldriger Fahrbahnquerschnitt mit zwei Hauptträgern und Queraussteifung verhält sich bei der Verformung eines Hauptträgers ähnlich wie ein statisch bestimmter Einfeldträger bei vertikaler Auflagerverschiebung. In der Abbildung 21 und der Abbildung 22 wird das gleiche System einmal mit und einmal ohne Queraussteifung gezeigt. Bei dem dargestellten System handelt es sich um den Zweifeldträger aus Abbildung 12 mit zwei Hauptträgern mit einer Feldlänge von je 20 Metern und einem Hauptträgerachsabstand von 4 Metern. Die Randauskragung beträgt 40 % des Hauptträgerachsabstandes. Die Belastung erfolgt gemäß Abbildung 12 mit 100 kN Einzellast. [8, p. 88 ff.]

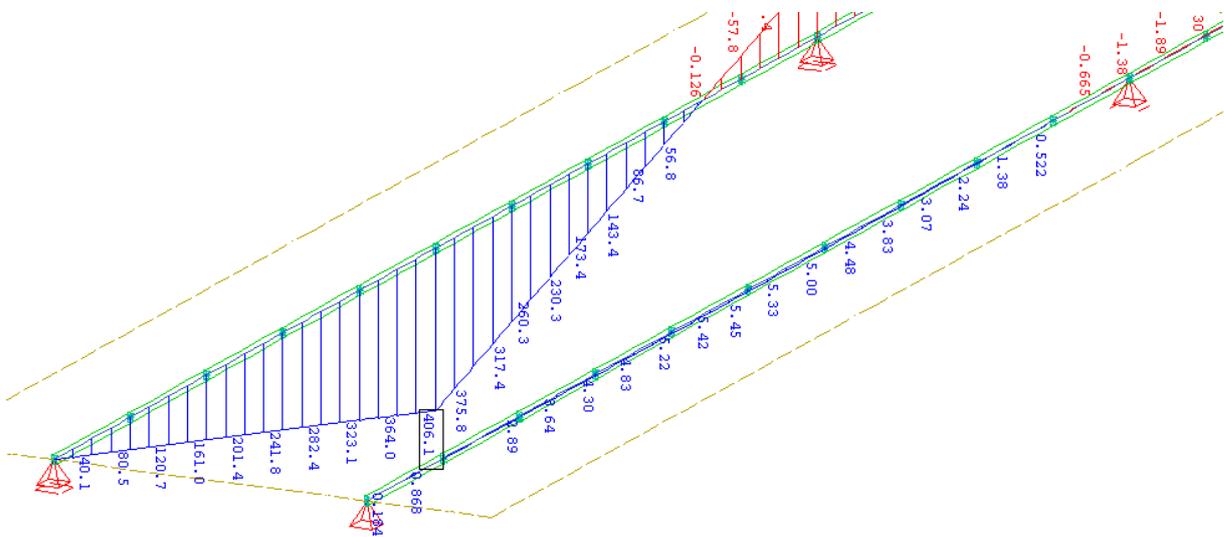


Abbildung 21 System mit 2 HT ohne Queraussteifung

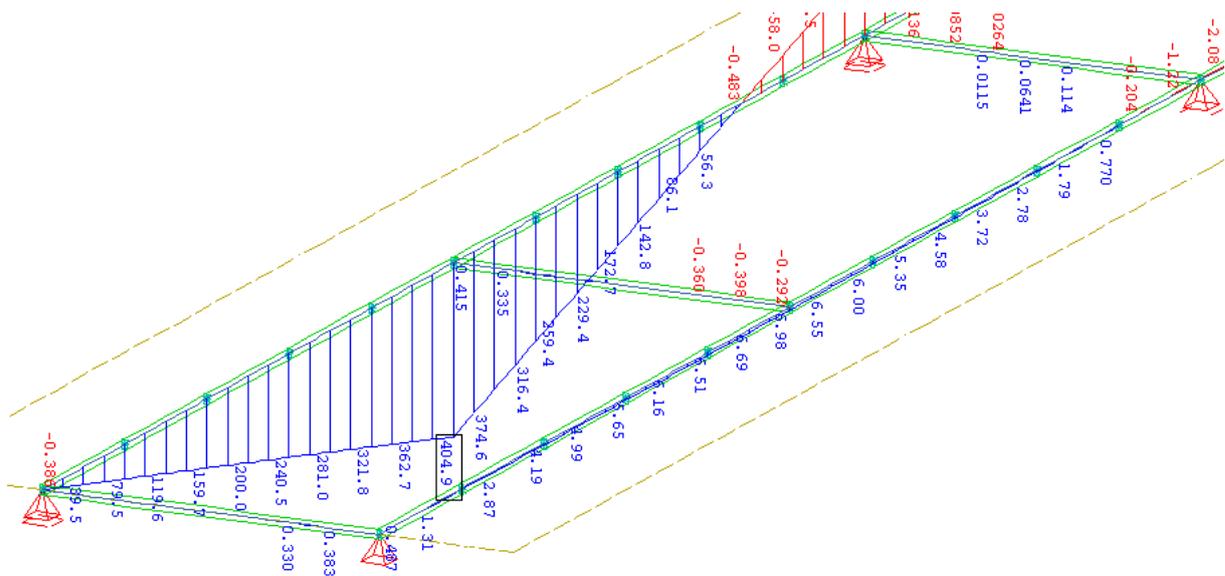


Abbildung 22 System mit 2 HT mit Queraussteifung

Bei beiden Modellen beträgt das maximale Moment zufolge der 100 kN Einzellast ungefähr 405 kNm.

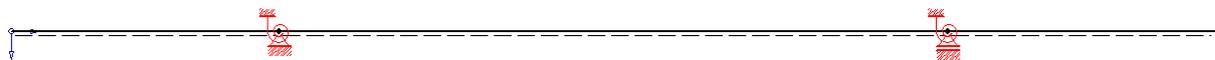


Abbildung 23 Statisches Quersystem eines Zweifeldträgers

3.4 MÖGLICHKEITEN DER MODELLBILDUNG

Im Nachfolgenden werden mögliche Modellbildungen für Plattenbalkenbrücken mit offenem Querschnitt vorgestellt. Prinzipiell kann zwischen 2D und 3D Modellen unterschieden werden. Im Rahmen der Untersuchung der Verkehrslasten wird nur der Überbau, welcher bei Plattenbalkenbrücken bereits den ganzen Fahrbahnquerschnitt darstellt, modelliert. Die Wirkung von Stützen, Widerlagern und deren Interaktion mit dem Untergrund wird im Modell nicht berücksichtigt.

3.4.1 2D MODELL MIT QUERVERTEILUNGSLINIE

Diese Art von Modell bringt eine recht einfache Vorgehensweise mit sich. Die Methodik beruht darauf, dass zuerst die Quereinflusslinien der Hauptträger bestimmt werden und anschließend für jeden Hauptträger die ungünstigsten Laststellungen bestimmt werden. Die Querverteilung einer dickeren Platte kann zum Beispiel mit einer Ersatzfedersteifigkeit oder bei zusätzlichen Queraussteifungen mit Tabellenwerten nach Engesser erfasst werden. [8, p. 90 ff.] [4, p. 59 ff.]

Zu beachten ist, dass die Tabellenwerte nach Engesser Queraussteifungen mit unendlicher Steifigkeit, fehlender Torsionssteifigkeit der Hauptträger und einem Abstand der Queraussteifungen untereinander von 0 voraussetzt. Dieses Modell entspricht somit einer unendlich steifen Platte. Die Theorie nach Engesser sollte nur bei Brücken mit Queraussteifungen verwendet werden. Weiters sind die lokalen Schnittgrößenänderungen zufolge der Aussteifung zu beachten. Je mehr Queraussteifungen angeordnet werden, desto kleiner werden die lokalen Änderungen der Schnittkräfte. Aufgrund der Tatsache, dass die Biegesteifigkeit der Queraussteifungen

bei den Engesser Tabellen als unendlich vorausgesetzt wird, wird die Quereinflusslinie für die Hauptträger linear. [8, p. 90 ff.]

| Anz. HT | SYSTEM | Einfl für HT _i | Last P=1 in j | | | | | | I _i / I |
|---------|------------------|---------------------------|---------------|-------|--------|--------|--------|---|--------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 3 | $b^* = 1,5a$ | 1 | 0,833 | 0,333 | -0,167 | - | - | - | 1,0 |
| | | 2 | 0,333 | 0,333 | 0,333 | - | - | - | |
| | | 1 | 0,853 | 0,353 | -0,147 | - | - | - | 1,2 |
| | | 2 | 0,294 | 0,294 | 0,294 | - | - | - | |
| 4 | $b^* = 2a$ | 1 | 0,700 | 0,400 | 0,100 | -0,200 | - | - | 1,0 |
| | | 2 | 0,400 | 0,300 | 0,200 | 0,100 | - | - | |
| | | 1 | 0,731 | 0,426 | 0,120 | -0,185 | - | - | 1,2 |
| | | 2 | 0,354 | 0,269 | 0,185 | +0,100 | - | - | |
| 5 | | 1 | 0,600 | 0,400 | 0,200 | 0 | -0,200 | - | 1,0 |
| | | 2 | 0,400 | 0,300 | 0,200 | 0,100 | 0 | - | |
| | | 3 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | - | 1,2 |
| | | 1 | 0,636 | 0,428 | 0,222 | 0,015 | -0,192 | - | |
| | | 2 | 0,357 | 0,271 | 0,185 | 0,099 | 0,013 | - | |
| | | 3 | 0,185 | 0,185 | 0,185 | 0,185 | 0,185 | - | |

Abbildung 24 Tabellen nach Engesser [8, p. 93]

Die Methode der Ersatzfedersteifigkeit eignet sich gut um eine Brücke ohne Queraussteifungen näher abzubilden. Es kann so die Wirkung der Querverteilung erfasst werden. Die Ersatzfedersteifigkeit ist eine sich entlang der Trägerachse ändernde Größe und hat in Feldmitte ihren kleinsten Wert und geht beim Auflager gegen unendlich. Um die Mitwirkung der anderen Träger an einer beliebigen Stelle „x“ im System zu erfassen, kann wieder ein Schnitt orthogonal zur Brückenlängsachse gelegt werden, um so einen Durchlaufträger mit n-1 Feldern darzustellen, wobei n die Anzahl der Stege ist. Anstatt nun mit fixen Vertikallagern zu rechnen, werden Federn mit der errechneten Ersatzsteifigkeit angeordnet. Am so erzeugten System kann man mithilfe einer Quereinflusslinie die Querverteilung bestimmen. Das Diagramm in Abbildung 25 kann für Einfeldträger mit einem E-Modul von 35000 MPa, einem Trägheitsmoment von 0.4747 m⁴ und einer Stützweite von 35 Metern verwendet werden und gilt somit nur für ein bestimmtes System. Die drei Linien im Diagramm stehen für die drei verschiedenen, abgebildeten Lagerbedingungen. Die Ersatzfedersteifigkeit kann entweder mithilfe von Diagrammen, oder durch eigenständiges Ermitteln bestimmt werden. [4, p. 59 ff.]

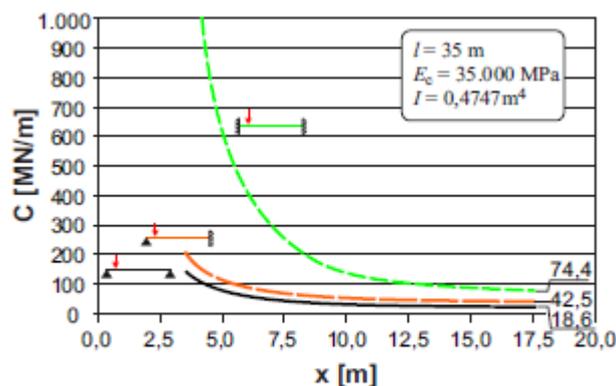


Bild 7.4 Ersatzfedersteifigkeit $C = F/f_i$

Abbildung 25 Diagramm zum Abschätzen der Ersatzfedersteifigkeit für ein System mit den beschriebenen Querschnittswerten [4, p. 62]

Eine eigenständige Berechnung der Querverteilung mit der Methode der Ersatzfederfedersteifigkeiten kann mit dem Querschnittsmodell in Abbildung 26 erfolgen. Es stellt den Plattenbalkenquerschnitt aus Abbildung 11 dar. Die Federsteifigkeiten sind Systemgrößen und sind vom Längssystem und von der Biegesteifigkeit der Hauptträger abhängig.

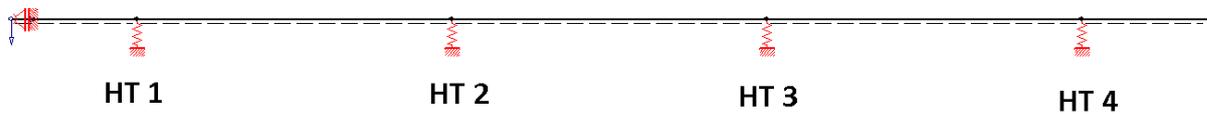


Abbildung 26 Statisches System zur Ermittlung der Querverteilung in Ruckzuck

3.4.2 3D MODELL MIT STÄBEN MIT QUERVERTEILUNGSPLATTE

Es handelt sich hierbei um ein Modell, welches die Hauptträger als Stäbe abbildet, welche durch eine Platte aus Flächenelementen verbunden werden. Um doppelte Steifigkeit in Längsrichtung im Bereich der Stäbe zu vermeiden, wird die Längssteifigkeit der Platte auf 0 gesetzt. Weiters muss beim Stab die Torsionssteifigkeit so reduziert werden, dass nur der Steg des Stabes eine solche besitzt. Auch für das doppelte Eigengewicht an der Überlappungsstelle des Stabes mit der Platte muss eine Korrektur vorgenommen werden. Die effektive Breite b_{eff} des Plattenbalkens muss im Modell implementiert werden und in die Querschnittsgestaltung der Hauptträger übernommen werden. Diese Art von Modell wird im Rahmen der Masterarbeit verwendet.

3.4.3 3D MODELL ALS FALTWERK

Dieses Modell ähnelt der zuvor erläuterten Vorgehensweise. Jedoch werden die Hauptträger nicht mehr als Stäbe, sondern auch als Flächenelemente modelliert. Weiters wird bei dieser Art des Modells die Interaktion zwischen Platte und Balken vom Programm ermittelt, weshalb eine Berechnung des b_{eff} nicht erforderlich ist. Es ist bei diesem Modelltyp schwieriger die Schnittkräfte darzustellen und anschließend auszuwerten als beim zuvor erläuterten Modell, welches die Ergebnisse als Stabschnittkräfte liefert.

3.4.4 LAGERUNG DER BRÜCKE

Im Rahmen des Projektes wird eine zwängungsfreie Lagerung angestrebt und modelliert. Dies bedeutet, dass sich Verdrehungen und Verschiebungen frei einstellen können und keine Zwangsschnittgrößen entstehen. Am tatsächlichen Tragwerk erweist sich eine komplett zwängungsfreie Lagerung jedoch als nicht realisierbar, da es abhängig von der Auflagerart Verformungs- und Reibungswiderstände gibt. Abgesehen von den zuvor erläuterten Zwängen wird nun das Schema einer fast zwängungsfreien Lagerung, welche durch die Wahl von Auflagerwertigkeiten erreicht wird, erklärt. Die dargestellten Sachverhalte beziehen sich auf punktuelle Lager. Es gibt im ganzen System nur ein in alle horizontalen Richtungen gesperrtes Auflager, welches meistens an einem Widerlager angeordnet wird. Weiters darf es in allen Auflagerreihen, welche die Felder begrenzen, nur ein in Brückenquerrichtung gesperrtes Auflager geben. Alle anderen Lager besitzen nur eine Wertigkeit in vertikaler Richtung. Zusätzlich müssen sich an allen Auflagern Verdrehungen frei einstellen können. Werden diese Kriterien berücksichtigt, so bleiben Zwangsschnittkräfte minimal. In Abbildung 27 werden übliche Auflagerarten dargestellt. In Abbildung 28 wird die zwängungsarme Lagerung anhand eines vierfeldrigen Tragwerkes mit zwei Hauptträgern mittels Punktkipplagern gezeigt. [8, p. 146 ff.]

| Symbol x y | Kurz- zei- chen | Lagertyp und -funktion | Lagerart | Relativbewegung | | | | | | Schnittgrößen | | | |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|------|--------|---|-------|--------|---------------|-------|---|---|
| | | | | Verschiebungen v in Richtung | | | Verschiebungen α um die Achse | | | Kräfte | | | |
| | | | | x | y | z | x | y | z | horizont. | vert. | | |
| | | | | | | | P_x | P_y | P_z | | | | |
| | V2 | Verfor- mungs- lager | Elastomerlager (EL) | v | v | | v | v | v | • | • | • | |
| | V1 | | EL mit Festhaltekonstruktion (FK) für eine Achse | | nein | gering | | | | • | • | • | |
| | V | | EL mit FK für zwei Achsen | nein | nein | | | | | • | • | • | |
| | VG1 | Verfor- mungs- gleitlager | EL mit einachsig bewegl. Gleitteil und FK für die andere Achse | g | u | v | v | v | v | • | • | • | |
| | VG2 | | EL mit zweiachsig beweglichem Gleitteil | | g | u | v | | | | | • | |
| | VGE1 | | EL mit einachsig beweglichem Gleitteil | | v | | | | | | • | • | |
| | P | Punktkipp- lager | Stählernes Punktkipplager | nein | nein | nein | r | r | r | • | • | • | |
| | P | | Topflager | nein | | | v | v | g | u | • | • | • |
| | P1 | | Topflager mit einachsig beweglichem Gleitteil | g | | nein | | | | | | • | • |
| | P2 | | Topflager mit zweiachsig beweglichem Gleitteil | | g | | | | | | | | • |
| | P | | Kalottenlager mit FK außerhalb der Kalotte | nein | | | g | g | g | | • | • | • |
| | P1 | | Kalottenlager mit einachsig bewegl. Gleitteil (äußere Führung) | g | | nein | | | | | | • | • |
| | P2 | | Kalottenlager mit zweiachsig beweglichem Gleitteil | | g | | | | | | | | • |
| | L | Linienkipp- lager | Stählernes Linienkippplager | nein | nein | nein | nein | | gering | • | • | • | |
| | L1 | | Stählernes Rollen-, Stelzenlager | r | nein | nein | nein | | gering | | • | • | |
| | H | Horizontal- kraftlager | Festpunkt- oder Horizontalkraftlager zweiachsig fest | nein | | g | gov | gov | gov | • | • | | |
| | H1 | | Einachsig festes Führungslager | r | nein | | | | | nein | | • | |

Abbildung 27 Auflagerarten [8, p. 146]

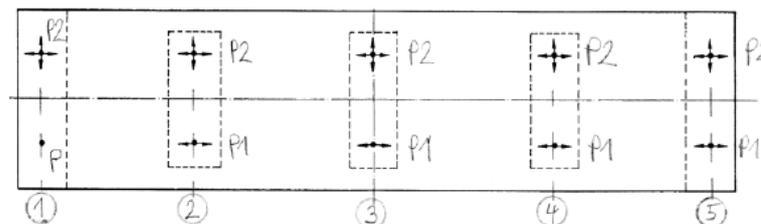


Abbildung 28 Zwängungsarme Lagerung [8, p. 151]

4 PARAMETERSTUDIE

4.1 ALLGEMEINES

Die Parameterstudie stellt die Hauptaufgabe der vorliegenden Arbeit dar. Im Rahmen dieser werden unterschiedliche Verkehrslastmodelle hinsichtlich ihrer Ausnutzung durch vertikale Lasten von Plattenbalkenbrücken untersucht. Sie wird mithilfe des Programmes Sofistik durchgeführt. Untersucht werden folgende Lastmodelle:

- LM1 nach ÖNORM B 1991-2 (Österreich)
- LM1 nach DIN EN 1991-2/NA : 2012 08
- LM3 nach ÖNORM B 1991-2 (Österreich)
- ÖNORM B 4002 (LKWs)
- ÖNORM B 4002 (Raupenfahrzeug)

Um eine aussagekräftige Untersuchung der Modelle zu ermöglichen, wird das Brückenmodell parametrisiert, sodass die Geometrie vom Anwender frei wählbar ist. Die Belastungen der unterschiedlichen Normen werden übernommen und können über implementierte Parameter verändert werden. Die Parameterstudie selbst wird mit dem FE-Programm Sofistik berechnet. Die Auswertung erfolgt mithilfe von Microsoft Excel anhand von Diagrammen.

Besondere Bedeutung hat die Parameterstudie bei dem Vergleich der alten österreichischen Brückenbaunorm, der ÖNORM B 4002, mit den neuen Modellen des Eurocodes, da die alte Norm erst im Jahr 2009 zurückgezogen wurde und durch die EN 1991-2 ersetzt wurde. So gibt es zahlreiche Bestandsbrücken, welche mit der Vorgängernorm berechnet wurden, wodurch dem Vergleich der neuen und alten Norm besondere Bedeutung zugeschrieben wird. Ein weiterer Aspekt, welcher für die Parameterstudie interessant ist, ist der Vergleich des nationalen Anhangsdokumentes aus Österreich mit jenem aus Deutschland. In der deutschen Fassung sind die α_q -Werte für die Flächenlasten deutlich erhöht, während sie in Österreich bei 1.0 belassen werden. Wesentlich für das Brückensystem ist, dass es für beliebige Gesamtlängen und eine beliebige Anzahl von Feldern funktionieren muss. Bei einfeldrigen Tragwerken entspricht die Gesamtlänge der Feldlänge, bei zwei Feldern wird die Gesamtlänge gleichermaßen aufgeteilt und bei mehr als zwei Feldern besitzt das erste und letzte Feld 70 % der ansonsten gleichmäßig verteilten Feldlängen. Die Definition der Feldlängen wird in Abbildung 29 bis Abbildung 31 veranschaulicht. In diesem Kapitel werden die im Rahmen der Masterarbeit untersuchten Tragwerke und deren Geometrie erläutert.

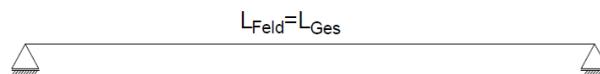


Abbildung 29 Feldlängen bei einfeldrigen Systemen



Abbildung 30 Feldlängen bei zweifeldrigen Systemen



Abbildung 31 Feldlängen bei mehr als zwei Feldern

4.2 SIMULATION IN SOFISTIK

Im folgenden Abschnitt wird die Implementierung in der FE-Software erläutert.

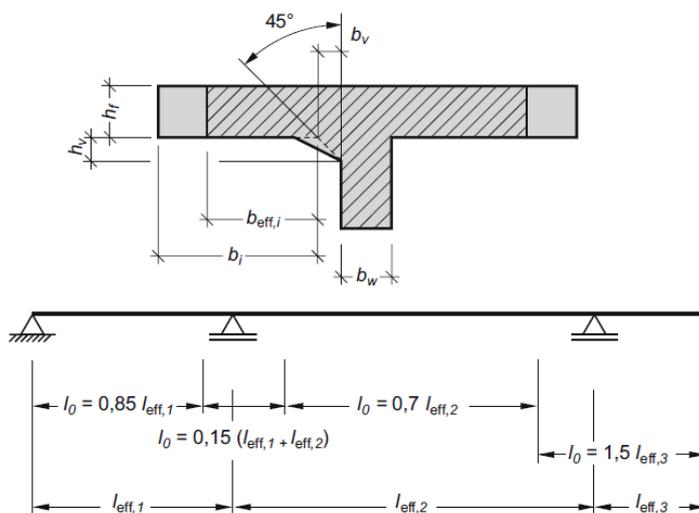
4.2.1 QUERSCHNITTSWERTE UND MATERIALDEFINITION

Als Material wird für alle Hauptträger ein C 25/30 Beton definiert. Die Wichte des Materials ist so implementiert, dass nur der Steg des Plattenbalkens ein solche aufweist. So kann doppeltes Eigengewicht in der Überlappungsstelle vermieden werden, wenn dieses aktiviert wird. Im Zuge der Untersuchung wird das gesamte Eigengewicht deaktiviert, da lediglich Verkehrslasten verglichen werden. Die Fahrbahnplatte entspricht ebenfalls einem C 25/30 Beton, jedoch wird bei diesem die Längssteifigkeit auf 0 gestellt. Dieser Schritt dient der Vermeidung von doppelter Steifigkeit. Die Queraussteifungen werden mit einem klassischen C 25/30 Beton ohne jegliche Veränderung definiert und sind auf Wunsch aktivierbar. Bei allen Stabquerschnitten wird das Torsionsträgheitsmoment auf den Wert 0 gestellt.

Bei den Querschnitten der Stäbe handelt es sich um geometrieabhängige Plattenbalkenquerschnitte. Diese werden abhängig von der Brückegeometrie erzeugt. Die geometrischen Faktoren, welche auf die Querschnittsgestaltung Einfluss nehmen, sind:

- l_0 -Werte (Abstand zwischen den Momenten-Nullpunkten)
- Abstand der Hauptträger zu den angrenzenden Hauptträgern oder Rändern des Tragwerks

Mit diesen Werten wird die mitwirkende Breite b_{eff} wie in Abbildung 32 berechnet.



$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w$$

mit

$$b_{eff,i} = 0, 2b_i + 0, 1 \cdot l_0 \leq 0, 2 \cdot l_0 \leq b_i$$

Hierbei sind (vgl. Abb. 2.23, 2.26, 2.27):

- l_0 die wirksame Stützweite
- b_i die tatsächliche Gurtbreite
- b_w die Stegbreite

Abbildung 32 Vorgangsweise bei der Berechnung der effektiven Breite von Plattenbalken [11, p. 61]

Abhängig von den Eingabeparametern können die Werte b_i und l_0 stark variieren. Vor allem die Anzahl der Felder hat einen signifikanten Einfluss auf den l_0 -Wert. Im nachfolgenden Bild wird gezeigt, wie sich bis zu einer Anzahl von 3 Feldern die unterschiedlichen l_0 -Werte verändern. Die mittlere Feldlänge beträgt für das Beispiel 10 Meter.

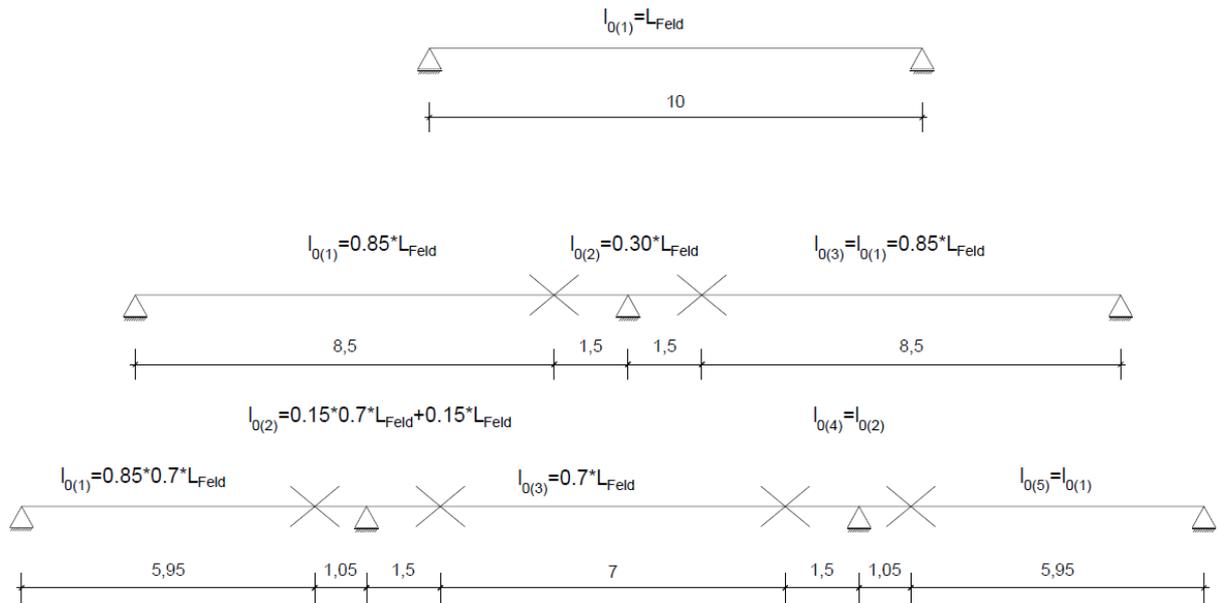


Abbildung 33 I_0 -Werte für Ein, Zwei und Dreifeldträger

Abgesehen von der variablen Geometrie in Längs und Querrichtung gibt es auch vordefinierte Werte, welche Einfluss auf die Querschnittsgestaltung der Plattenbalken haben. Es handelt sich um die Plattendicke, Stegdicke und das L/H Verhältnis. Diese Werte werden nicht variiert und in Tabelle 12 gezeigt.

Tabelle 12 Vordefinierte Parameter

| Bezeichnung | Größe und Einheit |
|----------------|-------------------|
| Plattendicke | 30 [cm] |
| Stegdicke | 40 [cm] |
| L/H Verhältnis | 15 [-] |

Tabelle 13 Materialübersicht

| Materialtabelle | | |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| Bauteil | E-Modul längs [MPa] | E-Modul quer [MPa] |
| Fahrbahnplatte | 33 | 33000 |
| Hauptträger | 33000 | 33000 |

Der Querschnitt der Fahrbahnplatte wird über die Plattendicke definiert. Die seitliche Auskrümmung des Brückentragwerks wird mit 40 % des Hauptträgerachsabstandes bestimmt.

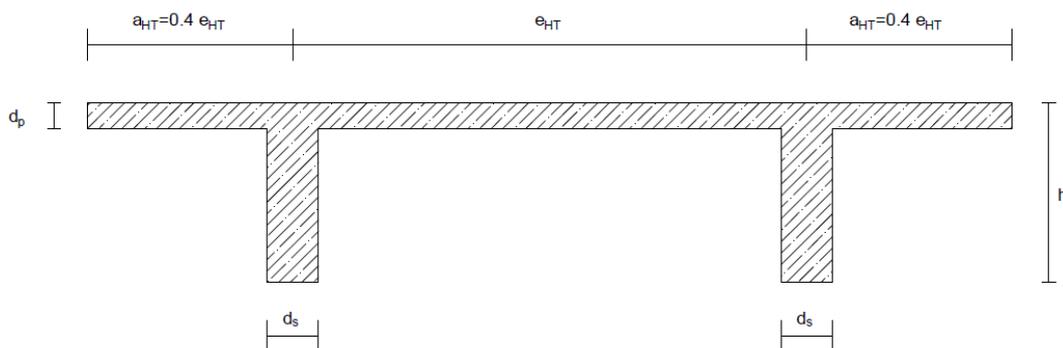


Abbildung 34 Definition der Fahrbahnplatte und der Auskrümmungen

4.2.2 ERSTELLUNG DES SYSTEMS

In diesem Abschnitt wird auf die Erstellung des Modells im Programm Sofistik eingegangen. Ziel bei der Systemerstellung ist es ein mithilfe von Eingabewerten automatisch generiertes Plattenbalkenbrückentragwerk zu erzeugen. Die Eingangsparameter, die für die Erzeugung des Systems benötigt werden, sind:

- Feldlängen der Mittelfelder
- Anzahl der Felder
- Anzahl der Hauptträger
- Dicke der Fahrbahnplatte
- Gesamtbreite des Querschnittes
- Seitenlänge der Netzelemente
- Verhältnis zur Erzeugung der Querschnittshöhe in Abhängigkeit der (Mittel-)Feldlänge

Die Schritte bei der Erstellung des Systems werden in Abbildung 35 veranschaulicht. In den nachfolgenden Abschnitten wird die Implementierung des Systems erklärt.

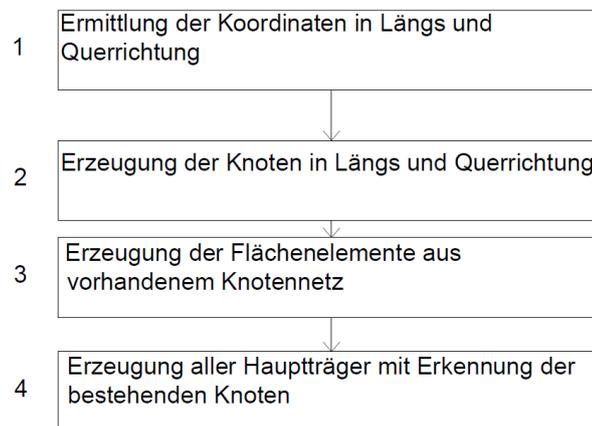


Abbildung 35 Herangehensweise zur Erzeugung des Tragwerkmodells in Sofistik

4.2.2.1 GENERIERUNG DES TRAGWERKS

Die Generierung des Brückentragwerkes erfolgt mithilfe von Linienelementen und Flächenelementen. Die Flächenelemente haben eine lastverteilende Wirkung auf die Hauptträger. Im Rahmen des Projektes wird nur der Überbau modelliert. Die Lagerung ist so gewählt, dass keine Zwangsschnittgrößen entstehen (Siehe 3.4.4). Das modellierte System wird nun anhand eines Zweifeldträgers mit einer Feldlänge von je 10 Metern, einer Breite von 9.5 Metern und 2 Hauptträgern in Abbildung 36 dargestellt.

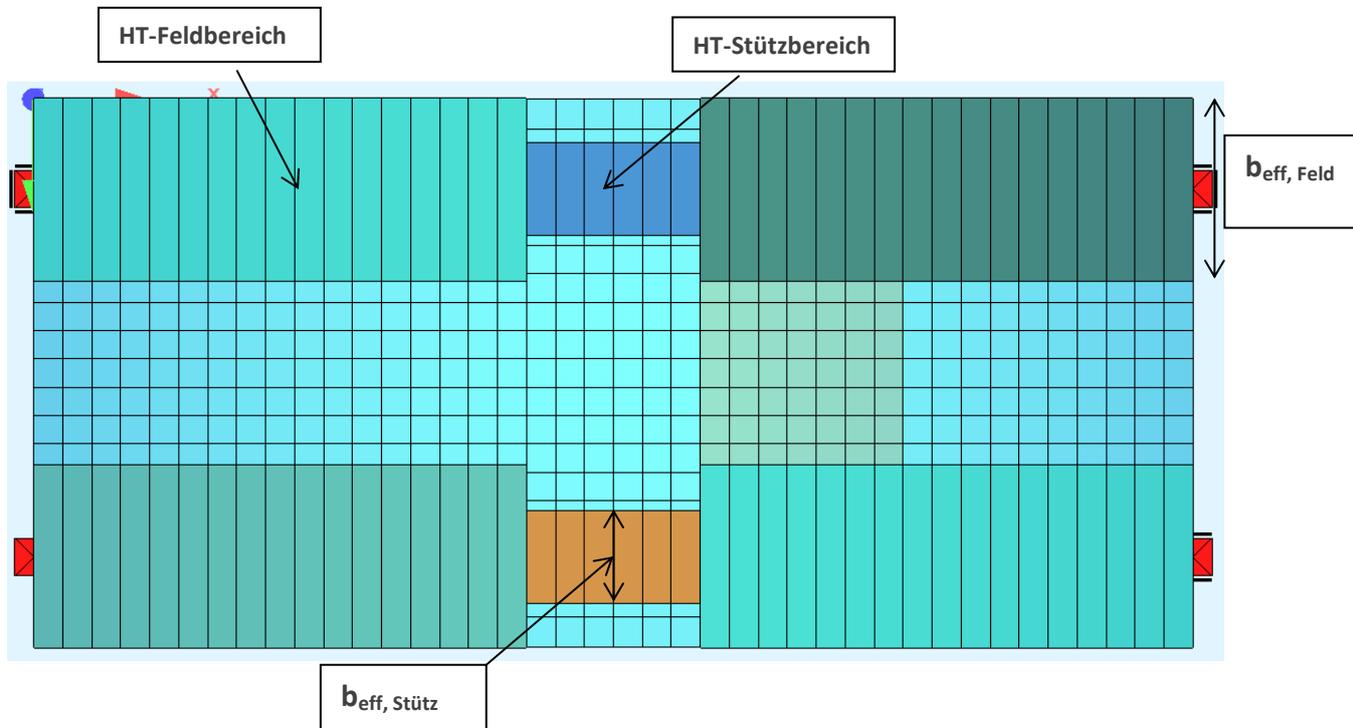


Abbildung 36 Modell im Grundriss

Es ist im Programm möglich die Netzfeinheit zu bestimmen. Hierfür wird ein Parameter, welcher für die Seitenlänge der quadratischen Elemente zuständig ist, eingeführt. Je kleiner die Elemente des Systems sind, desto feiner werden die Ergebnisverläufe. Vor allem für die Genauigkeit der Querkräfte spielt die Netzfeinheit eine entscheidende Rolle. Im Zuge der Arbeit wird eine Elementkantenlänge von 25 cm verwendet.

4.2.2.2 ERZEUGUNG DER QUERAUSSTEIFUNGEN

Die Queraussteifungen werden in allen Auflagerbereichen und Feldhälften erzeugt, sodass sie auf Wunsch aktiviert werden können. Das System mit Queraussteifungen wird für das selbe Brückentragwerk wie in Abbildung 36 veranschaulicht.

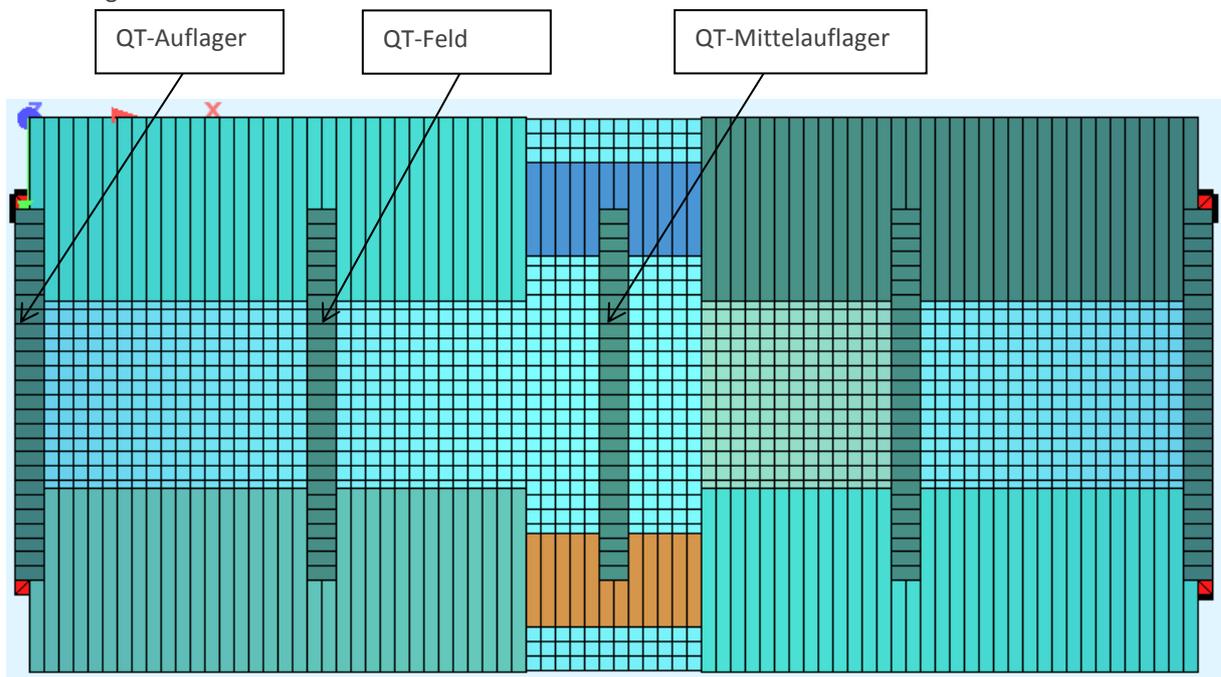


Abbildung 37 Zweifeldriges Tragwerk mit 2 Hauptträger und Queraussteifungen

Alle Queraussteifungen werden mit den Hauptträgern und der Platte verbunden. Der Querschnitt des Querstabes stellt einen Rechteckquerschnitt dar. Die Breite wird mit 0.5 Meter fixiert, wohingegen die Höhe des Querschnittes der Steghöhe des Plattenbalkens entspricht. Die Torsionssteifigkeit der Queraussteifungen wird auf 0 gesetzt.

4.2.3 BELASTUNGEN

Bei den untersuchten Belastungen handelt es sich um die folgenden Lastmodelle. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Kapitel 2.

- LM1 nach ÖNORM B 1991-2 (Österreich)
- LM1 nach DIN EN 1991-2/NA : 2012 08
- LM3 nach ÖNORM B 1991-2 (Österreich)
- ÖNORM B 4002 mit LKWs
- ÖNORM B 4002 mit Raupenfahrzeug

In diesem Abschnitt wird die Implementierung der Verkehrslasten erläutert. Im Rahmen dieser Arbeit werden nur Schnittkräfte aus Verkehrslasten untersucht, weshalb das Eigengewicht des Systems deaktiviert wird. Um die charakteristischen Werte der Verkehrslasten vergleichen zu können, werden alle Teilsicherheitswerte auf $\gamma=1.0$ gesetzt.

4.2.3.1 FAHRSTREIFENANORDNUNG

Die Aufbringung der Lasten auf das Tragwerk erfolgt für alle Normen nach dem gleichen Schema. Für alle Normen gilt, dass der Fahrstreifen mit der Nummer 1 den höchst belasteten Fahrstreifen darstellt. Dieser Fahrstreifen wird so positioniert, dass er sich vollständig am Tragwerk und zentrisch über dem betrachteten Hauptträger befindet. Nur bei der Belastung der Randhauptträger wird der Fahrstreifen 1 nicht zentrisch über diesen positioniert, sondern soweit wie möglich über der seitlichen Auskragung. Dies stellt unter Berücksichtigung der Quereinflusslinie die ungünstigste Lastpositionierung für einen Randträger dar (siehe Abbildung 38). Ausgehend davon werden alle anderen Fahrstreifen und deren Belastungen erzeugt. Abhängig von der Norm, die betrachtet wird, gibt es bis zu vier logische Anordnungen (Optionen) von Fahrstreifen. Es wird sichergestellt, dass jeder Hauptträger mit allen möglichen Fahrstreifenkonstellationen ungünstig belastet wird. Die Optionen für die drei hierarchisch absteigenden, mit Nummer 1 am stärksten belasteten Fahrstreifen werden in den nachfolgenden Abbildungen veranschaulicht.

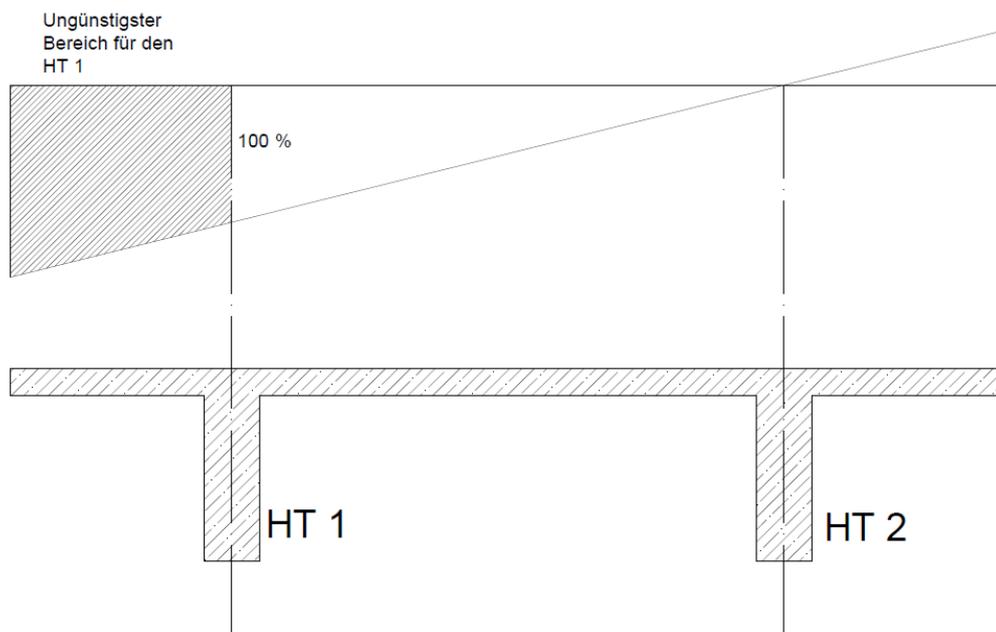


Abbildung 38 Quereinflusslinie für eine Plattenbalkenbrücke mit 2 Hauptträgern

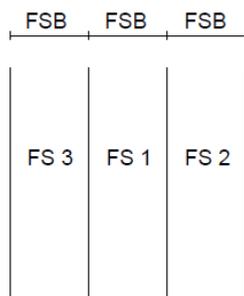


Abbildung 39 Option 1 für die Anordnung von drei Fahrstreifen

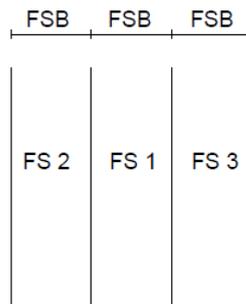


Abbildung 40 Option 2 für die Anordnung von drei Fahrstreifen

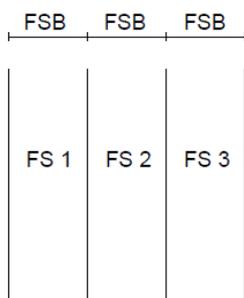


Abbildung 41 Option 3 für die Anordnung von drei Fahrstreifen

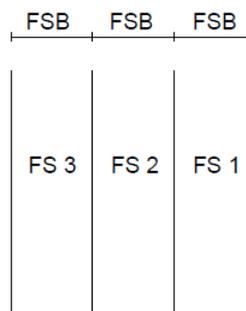


Abbildung 42 Option 4 für die Anordnung von drei Fahrstreifen

Bei einer Anzahl von zwei Fahrstreifen gibt es nur zwei mögliche Fahrstreifenkonstellationen, was Option 1 und 2 ohne dem dritten Fahrstreifen entspricht. Wenn es nur einen Fahrstreifen gibt, ist demnach nur eine Option möglich. Bei den untersuchten Optionen handelt es sich um die ungünstigsten Fahrstreifenanordnungen. Es gäbe bei 3 Hauptfahrstreifen insgesamt 6 verschiedene Anordnungen, von denen die nicht dargestellten keine Bedeutung haben. Option 1 und 2 sind für die Innenträger relevant, während Option 3 und 4 maßgebend für die Randträger sind. Gemäß Norm und Verkehrslastmodell kann es eine unterschiedliche Maximalanzahl von Optionen geben. Diese mögliche Anzahl von Fahrstreifenanordnungen wird in Tabelle 14 gezeigt. Sie hängt davon ab, wie viele Hauptfahrstreifen laut Norm und Fahrbahnbreite vorgesehen sind, oder geometrisch möglich sind.

Tabelle 14 Festgelegte Anzahl von Optionen und Schleifendurchgängen

| | Anzahl der möglichen Fahrstreifenkonstellationen | | |
|------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------|
| | Fahrbahnbreite | | |
| | $w < 5.4 \text{ m}$ | $5.4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$ | $w \geq 6 \text{ m}$ |
| ÖNORM EN 1991-2 Ö oder D-LM1 | 1 | 2 | 4 |
| ÖNORM EN 1991-2 Ö-LM3 | 1 | 2 | 4 |
| ÖNORM B 4002-LKW Belastung | 2 | 2 | 2 |
| ÖNORM B 4002-Raupenbelastung | 1 | 1 | 1 |

Das Schema, welches für die Setzung aller Fahrstreifen verantwortlich ist, beruht auf Platzabfragen links und rechts vom Fahrstreifen 1. Immer wenn sich noch ein weiterer Fahrstreifen ausgeht, wird dieser erzeugt. Die Restfläche, welche zu schmal für weitere Fahrstreifen ist, wird mit der dafür vorgesehenen Last versehen.

Allen Normen ist gemeinsam, dass die Fahrzeuge stets 10 Laststellungen pro Feld besitzen und auf diese Weise die Brücke überqueren. Somit ist die Gesamtanzahl der Lastfälle durch Achslasten abhängig von der Feldanzahl und nicht von deren Länge. Auf die Besonderheiten der einzelnen Normen und deren Implementierung wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen. Bei der Positionierung der Lasten wird jedes querende Fahrzeug unabhängig von der Norm in Längsrichtung zentrisch über den Zehntelpunkten eines Feldes aufgebracht. In Querrichtung ist das Fahrzeug in seinem Fahrstreifen ebenfalls zentrisch angeordnet. Diese Zehntelpunkte sind in Abbildung 43 dargestellt.

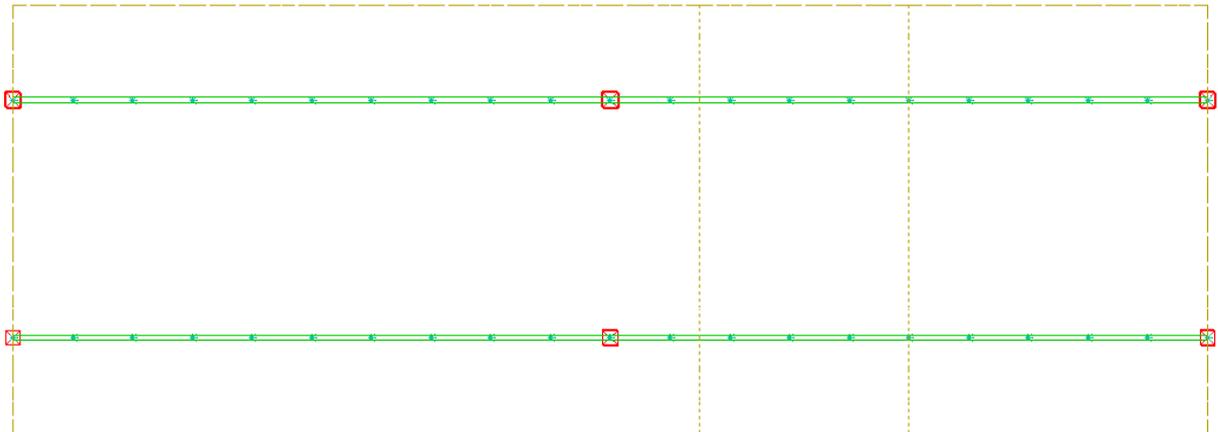


Abbildung 43 Zehntelpunkte im Feld für die zentrische Positionierung der Fahrzeuge in Längsrichtung

4.2.3.2 IMPLEMENTIERUNG DES LM1 NACH ÖNORM B 1991-2 UND DIN EN 1991-2

Das LM1 ist bis auf die α_{qi} -Werte in der österreichischen und deutschen EN 1991-2 ident (Siehe 2.3). Im Programm ist es möglich diese α_{qi} -Werte über Parameter zu wählen und somit beide Normen zu berechnen. Das LM1 gliedert sich hinsichtlich der Implementierung in drei Teile. Es handelt sich hierbei um die Erzeugung der Achslasten, der Erzeugung der Belastungen in den Hauptfahrstreifen und anschließend die Belastung der Nebenfahrstreifen und Randflächen. Die Belastungen aus Achslasten und Flächenlasten werden in Tabelle 15 für beide nationalen Anhänge veranschaulicht.

Tabelle 15 Belastungen und α -Werte nach den nationalen Anhängen

| | | ÖNORM B 1991-2 | | DIN EN 1991-2 | |
|------------|---------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| | | α -Werte | Flächenlast [kN/m ²] | α -Werte | Flächenlast [kN/m ²] |
| UDL | α_{q1} | 1.0 | 9.0 | 1.33 | 12.0 |
| | α_{q2} | 1.0 | 2.50 | 2.40 | 6.0 |
| | α_{q3} | 1.0 | 2.50 | 1.20 | 3.0 |
| Restfläche | α_{qR} | 1.0 | 2.50 | 1.20 | 3.0 |
| Fußgänger | | | 2.50 | | 3.0 |
| | | α -Werte | Radlast [kN] | α -Werte | Radlast [kN] |
| TS | α_{Q1} | 1.0 | 150 | 1.0 | 150 |
| | α_{Q2} | 1.0 | 100 | 1.0 | 100 |
| | α_{Q3} | 1.0 | 50 | 1.0 | 50 |

Zusätzlich zum LM1 werden Fußgängerlasten berücksichtigt. Laut der Kombinationstabelle fällt das gemeinsame Aufbringen vom LM1 und Fußgängerlasten in die Gruppe gr1a (siehe 2.1.5). Die Fußgängerlasten

betragen je nach nationalem Anhang 2.5 kN/m^2 oder 3.0 kN/m^2 . Diese werden mittels einer Linienlast und eines Linienmomentes berücksichtigt (siehe Abbildung 45). Hierfür wird die Fahrbahnplatte im Programm bei der Anfangskante des Randbalkens abgeschnitten, sodass nur die Fahrbahnbreite w im Modell enthalten ist (siehe Abbildung 44)

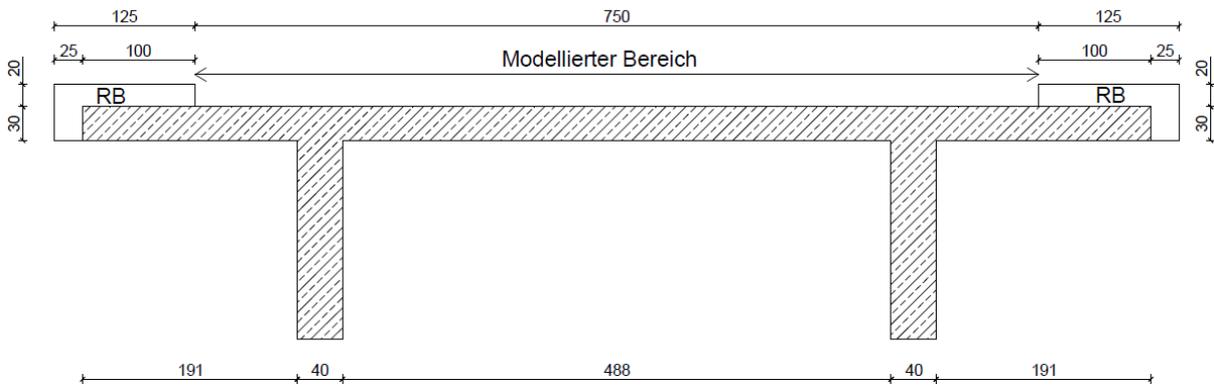


Abbildung 44 Modellierter Bereich ohne Randbalken

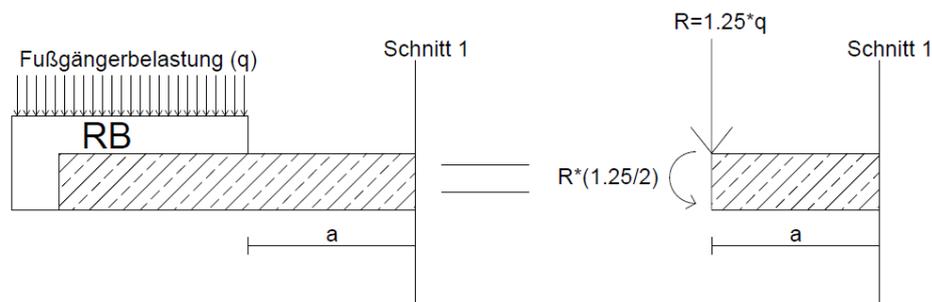


Abbildung 45 Berücksichtigung der Fußgängerlasten mit Linienlasten und Linienmomenten

4.2.3.3 LM3 NACH ÖNORM B 1991-2

Beim LM3 handelt es sich um ein Sonderfahrzeug mit 15 Achsen und einer Gesamtlast von 3000 kN. Das Gesamtgewicht wird auf die Achsen gleichmäßig aufgeteilt, sodass die Achslast 200 kN beträgt. Das Sonderfahrzeug wird über allen Stationen zentrisch positioniert und überquert auf diese Weise das Brückentragwerk. Hierbei ist im österreichischen Anhangsdokument eine Querungsgeschwindigkeit von 5 km/h vorgesehen, wodurch der dynamische Beiwert 1.0 beträgt. Eine Besonderheit beim LM3 ist das gleichzeitige Wirken des LM1. Das LM1 wirkt im LM3 als häufige Belastung 25 Meter hinter und vor dem Sonderfahrzeug im Fahrstreifen 1. Auf allen anderen Fahrstreifen wirkt das LM1 mit seinen häufigen Werten auf der gesamten Brückenlänge.

Wie das LM1 vor und hinter dem Sonderfahrzeug wirkt, wird in der Abbildung 46 und Abbildung 47 anhand einer zweifeldrigen Brücke mit einer Gesamtlänge von 40 Metern gezeigt.

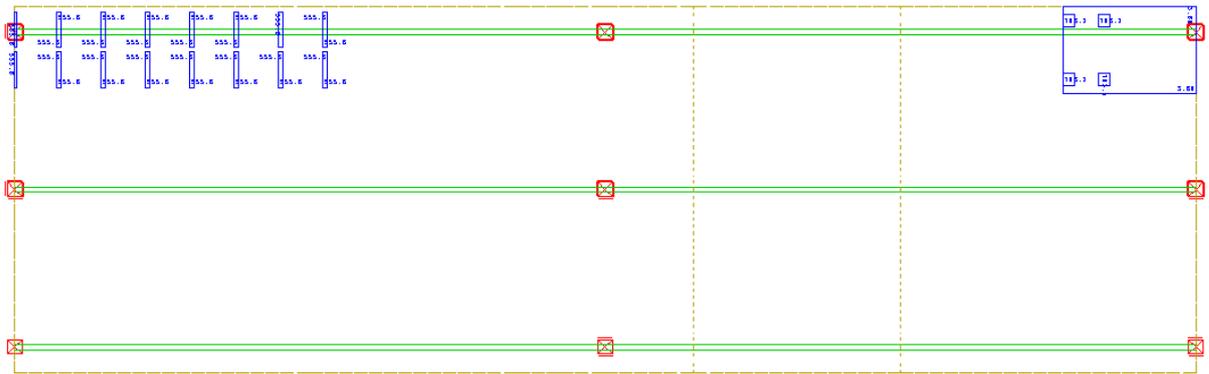


Abbildung 46 LM1 25 Meter vor dem Sonderfahrzeug

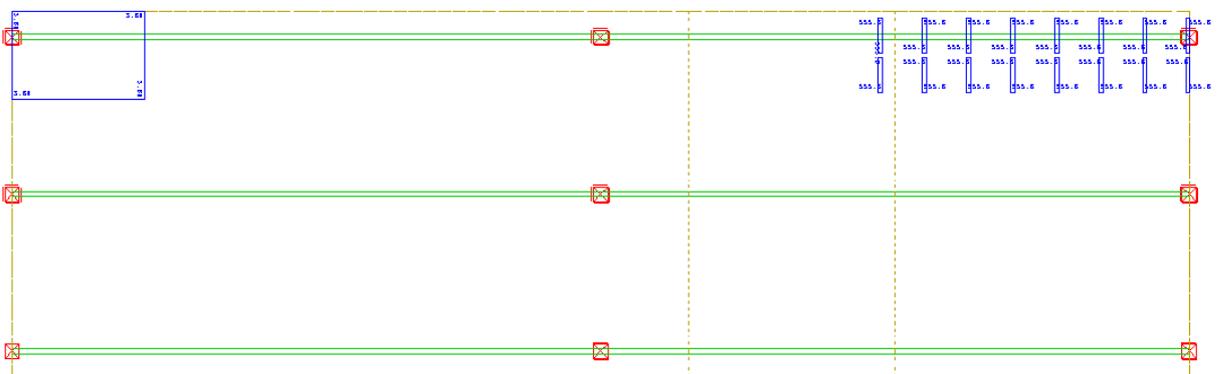


Abbildung 47 LM1 25 Meter hinter dem Sonderfahrzeug

Man erkennt, dass bei einer 40 Meter langen Brücke die Anteile des LM1 im Fahrstreifen 1 nur schwach zur Geltung kommen. Damit das LM1 überhaupt zu wirken beginnt muss die Brücke eine Mindestlänge von 36 Metern aufweisen.

4.2.3.4 ÖNORM B 4002 BELASTUNG DURCH LKW-VERKEHR

In diesem Kapitel wird die Implementierung der ÖNORM B 4002 beschrieben. Die ÖNORM sieht ähnlich wie der Eurocode zu der konventionellen Belastung aus LKWs eine zusätzliche, jedoch getrennte Belastung durch ein Sonderfahrzeug (Raupe) vor. Diese wirken nicht gleichzeitig, weshalb die Ergebnisse folglich auch getrennt dargestellt werden.

Ein wesentlicher Unterschied, der sich zwischen dem Eurocode und der alten ÖNORM B 4002 ergibt, ist der dynamische Beiwert. Da dieser in der ÖNORM B 4002 für die Belastung benötigt wird, findet seine Berechnung vor der Erzeugung der Lasten statt. Ein weiterer Unterschied zwischen dem LM1 des EC und der alten Norm ist, dass die Flächenlast in der ÖNORM B 4002 nur auf jenen Bereichen wirkt, die nicht von LKWs befahren werden. Dies wurde durch eine sich mit dem LKW bewegende, abhebende Flächenlast berücksichtigt. In der Abbildung 48 wird dies veranschaulicht.

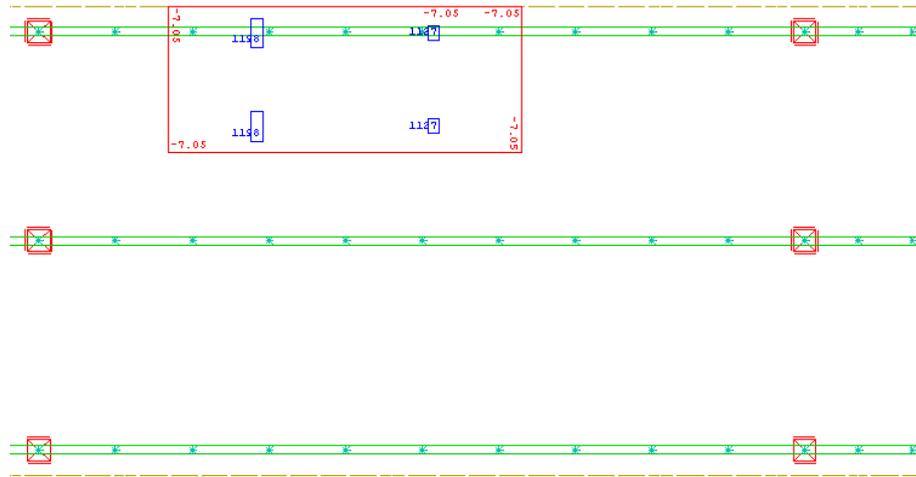


Abbildung 48 Abhebende Last im Bereich des LKWs

Es wird außerdem zu den Verkehrslasten eine Belastung durch Fußgängerlasten vorgesehen. Diese wird nach dem gleichen Schema wie im LM1 mit einer Linienlast und einem Linienmoment aufgebracht. Bei der ÖNORM B 4002, erfolgt die Belastung der Fußgängerwege mit einer Flächenlast von 500 kg/m^2 .

4.2.3.5 ÖNORM B 4002 BELASTUNG DURCH SONDERFAHRZEUG (RAUPE)

Die Belastung durch das Sonderfahrzeug wird durch das Überqueren eines 60 Tonnen schweren Raupenfahrzeugs im Alleingang dargestellt. Es erfolgt im Gegensatz zur Belastung durch LKWs keine Beanspruchung durch Flächenlasten. Die Fußgängerbelastung ist gleich wie bei der Belastung mit dem Regelverkehr. Alle Lasten der Fahrbahn werden wieder mit dem dynamischen Beiwert multipliziert.

4.2.4 AUSWERTUNGSSTELLEN (SCHNITTE)

Es werden in jedem Feld 10 Schnitte definiert, sodass sich jedes Fahrzeug bei der Querung der Brücke einmal zentrisch über diesen befindet. Weiters gibt es spezielle Schnitte für die Querkraft, welche sich im Abstand $d = h - 0.05 \text{ m}$ von den Auflagern befinden. Allgemeine Schnitte werden mit einer Nummerierung im 1000er Bereich definiert, während Schnitte für die Querkraft eine Nummerierung im 10000er Bereich aufweisen. Dies wird in Abbildung 49 und dargestellt.

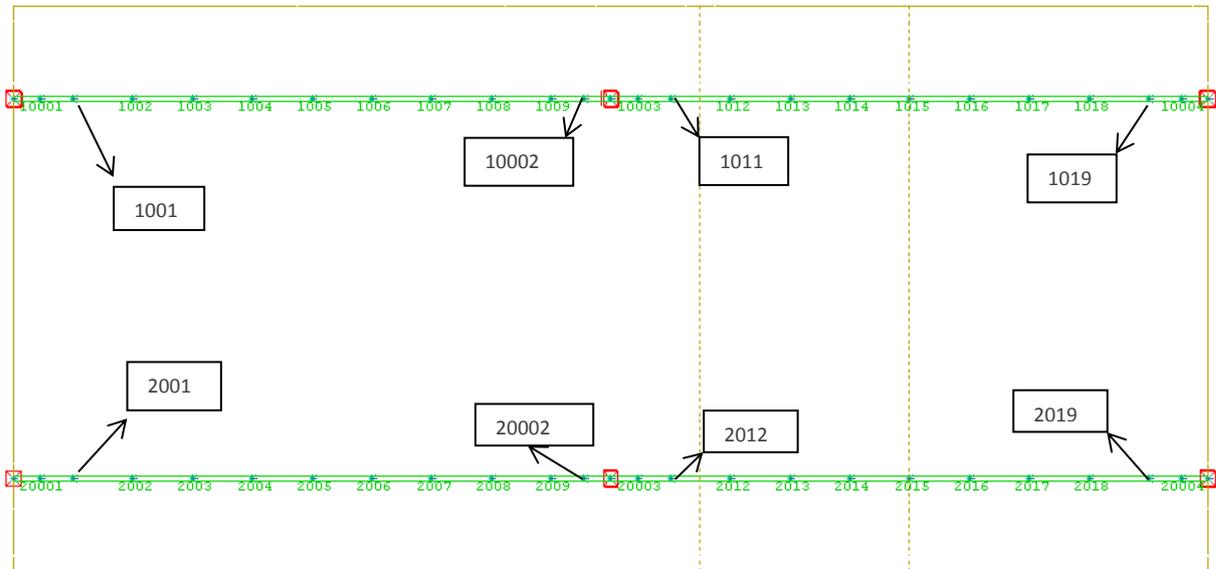


Abbildung 49 Erzeugung von Schnitten in den Hauptträgern

4.2.5 ÜBERLAGERUNG

Tabelle 16 Überlagerungen in den einzelnen Verkehrslastmodellen

| LM1 | |
|-------------------------------------|--|
| TS | 1 ungünstigster Lastfall pro Fahrstreifen (je Fahrstreifen sich gegenseitig ausschließend) |
| UDL | Ungünstig (sich gegenseitig nicht ausschließend) |
| LM3 | |
| SFZ | Ungünstigste Laststellung des Sonderfahrzeuges + LM1 mit häufigen Werten |
| ÖNORM B 4002 Verkehr | |
| LKWs | 1 ungünstigster Lastfall pro Fahrstreifen (je Fahrstreifen sich gegenseitig ausschließend) |
| Flächenlast | Ungünstig (sich gegenseitig nicht ausschließend) |
| ÖNORM B 4002 Sonderfahrzeug (Raupe) | |
| SFZ | Ungünstigste Laststellung des Sonderfahrzeuges |

Für jeden Schnitt wird die Kombination für M_{\max} , M_{\min} , V_{\max} und V_{\min} unter Berücksichtigung der maßgebenden Lastfälle erstellt. Im 1. Schritt erfolgt dies für jede Option der Fahrspurenanordnung. Im 2. Schritt wird aus diesen Ergebnissen wiederum der maßgebende Wert übernommen. Anhand dieser Werte erfolgt in weiterer Folge die Auswertung der Ergebnisse.

4.3 UNTERSUCHTE PARAMETER

4.3.1 ERLÄUTERUNG DER PARAMETER

Im Folgenden werden die untersuchten Parameter beschrieben. Den Hauptparameter in dieser Arbeit stellt die Feldlänge dar. Die Definition der Feldlänge fand bereits im Kapitel 4.1 statt und wird von Abbildung 29 bis Abbildung 31 veranschaulicht. Die Anzahl der untersuchten Felder 1, 2 und 3 stellt im Brückenbau eine häufige Art der Ausführung dar, weshalb sie auch in dieser Arbeit behandelt werden (siehe Tabelle 17). Die verwendeten Fahrbahnbreiten von 7.5 und 12.5 Metern stellen die Regelstraßenquerschnitte RQ 10.5 und RQ 15.5 dar, weshalb die zwei verwendeten Querschnitte auch diese Geometrien aufweisen. In Tabelle 17 werden alle zu untersuchenden Parameter dargestellt.

Tabelle 17 Zu untersuchende Parameter

| Bedeutung | Werte |
|--------------------------------------|--|
| Feldlänge des Mittelfeldes (L_m) | 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 [m] |
| Anzahl der Hauptträger | 2 [-] |
| Anzahl der Felder | 1, 2, 3 [-] |
| Breite | 7.5, 12.5 [m] |
| L_m/H -Verhältnis der HT | 15 [-] |

Die untersuchten Brückenquerschnitte werden in Abbildung 50 und Abbildung 51 gezeigt. Das Tragwerk wird nur bis zum Randbalken definiert, sodass der Querschnitt im Modell nur die Breite der Fahrbahn aufweist. Die Belastungen aus Fußgängerlasten, werden mit Linienlasten und Linienmomenten, wie in Kapitel 4.2.3.2 bereits beschrieben, aufgebracht.

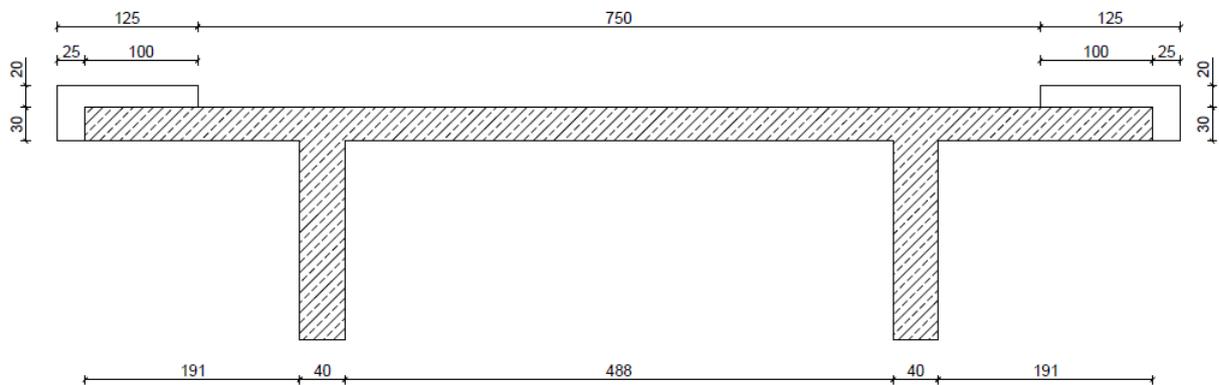


Abbildung 50 Untersucher Querschnitt mit einer Fahrbahnbreite von 7.5 Metern

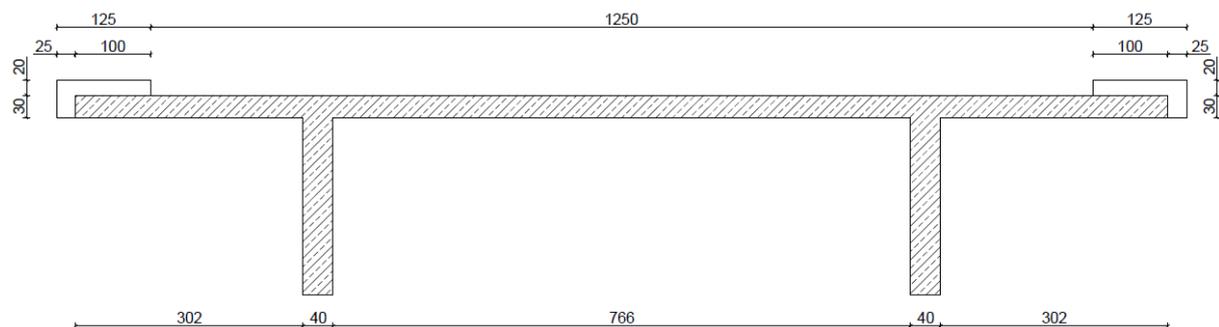


Abbildung 51 Untersucher Querschnitt mit einer Fahrbahnbreite von 12.5 Metern

4.3.2 MAßGEBENDE AUSWERTUNGSSTELLEN

Die Berechnung in Sofistik liefert in allen zuvor erläuterten Schnitten (siehe 4.2.4) die maximalen Momente und Querkräfte. Für die Auswertung werden je nach System aus allen zuvor erzeugten Schnitten einige maßgebende ausgesucht, an welchen die Momente und Querkräfte untersucht werden. Da nur Systeme mit zwei Hauptträgern behandelt werden und die Schnittkraftverläufe symmetrisch verlaufen, werden die Ergebnisse eines Hauptträgers abgelesen. Im Nachfolgenden soll nun gezeigt werden, welche maßgebenden Schnitte bei den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Tragsystemen gewählt wurden. Es gibt insgesamt vier Schnittgrößen die ausgewertet werden. Es handelt sich hierbei um die minimalen und maximalen Querkräfte und Momente. Die Schnitte werden in den Bildern mit den Nummern 1 bis 4 bezeichnet. Die Bedeutung der Nummerierung wird in Tabelle 18 erläutert.

Tabelle 18 Maßgebende Schnitte für die Auswertung

| Schnittnummer | Schnittkraft |
|---------------|----------------|
| 1 | max. Moment |
| 2 | min. Moment |
| 3 | max. Querkraft |
| 4 | min. Querkraft |

4.3.2.1 EINFELDTRÄGER

Die maßgebenden Schnitte für einen Einfeldträger werden in Abbildung 52 dargestellt. Da bei einem Einfeldträger zufolge von Auflast keine negativen Momente entstehen, entfällt der Schnitt mit der Nummer 2.

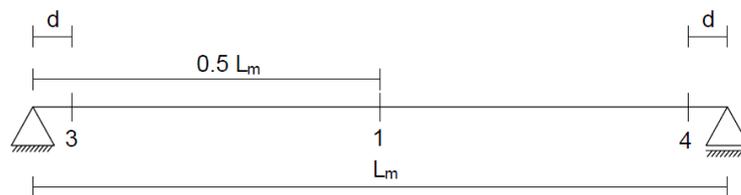


Abbildung 52 Untersuchte Schnitte beim Einfeldträger

4.3.2.2 ZWEIFELDTRÄGER

Bei Zweifeldträgern wird für die Auswertung des M_{\max} der Schnitt in einer Entfernung von $0,4 L_m$ vom Anfangsaufleger gesetzt. Zudem tritt ein Stützmoment über der Mittelstütze auf, welches in Abbildung 53 mit der Nummer 2 bezeichnet ist. Die maßgebenden Schnitte für die Querkraft mit der Nummer 3 und 4 befinden sich im Abstand d vom Mittelaufleger.

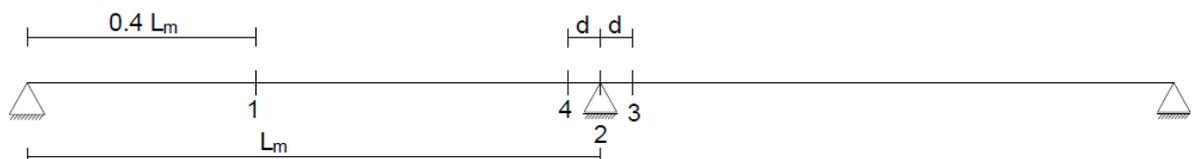


Abbildung 53 Untersuchte Schnitte bei einem Zweifeldträger

4.3.2.3 DREIFELDTRÄGER

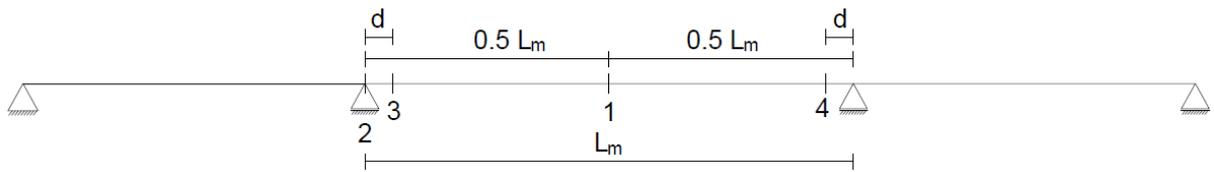


Abbildung 54 Untersuchte Schnitte bei einem Dreifeldträger

Für die Auswertung des M_{\max} bei Dreifeldträgern wird der Schnitt in der Mitte des Innenfeldes gesetzt. Das M_{\min} wird über dem ersten Innenaufleger abgelesen. Q_{\max} und Q_{\min} werden jeweils am Anfang und Ende des Mittelfeldes in einem Abstand von d vom jeweiligen Auflager abgelesen.

5 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

5.1 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

An dieser Stelle wird die allgemeine Vorgehensweise der Ergebnisdarstellung beschrieben. Es werden im Nachfolgenden die Schnittkräfte aller untersuchten Normen und deren prozentuelle Relation zum LM1 nach österreichischem Anhang in Diagrammen dargestellt. Ausgewertet werden jeweils die minimalen und maximalen Momente und Querkräfte.

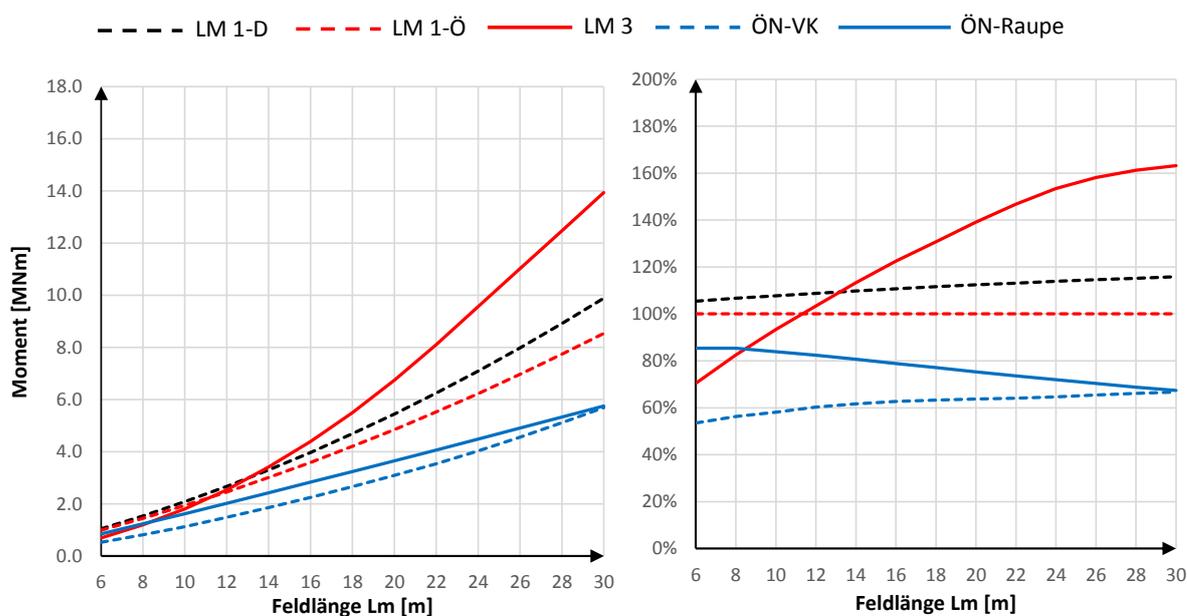


Abbildung 55 Erklärung des Diagrammes

Dargestellt werden stets 2 Diagramme. Beide Diagramme stellen die Kurven über die (Mittel-) Feldlänge dar. Strichlierte Linien stellen dabei die regulären Verkehrslastmodelle dar, während durchgezogene Linien die Sonderfahrzeuge beschreiben. Im linken Diagramm finden sich die absoluten Schnittkraftwerte, während sie im rechten Diagramm in % bezogen auf das LM1-Ö dargestellt sind. Die 5 Linien beschreiben die Lastmodelle laut Tabelle 19.

Tabelle 19 Beschreibung der Lastmodelle in den Diagrammen

| Bezeichnung | Lastmodell |
|-------------|---|
| LM1-D | LM1 nach DIN EN 1991-2/NA : 2012 08 |
| LM1-Ö | LM1 nach ÖNORM B 1991-2 (2011-04-15) |
| LM3 | LM3 nach ÖNORM B 1991-2 (2011-04-15) |
| ÖN-VK | Verkehrsbelastung nach ÖNORM B 4002 (1970) |
| ÖN-Raupe | Sonderfahrzeug (Raupe) nach ÖNORM B 4002 (1970) |

5.1.1 DISKUSSION DER ERGEBNISSE FÜR EINFELDTRÄGER

5.1.1.1 M_{MAX} MIT EINER BREITE VON 7.5 METERN

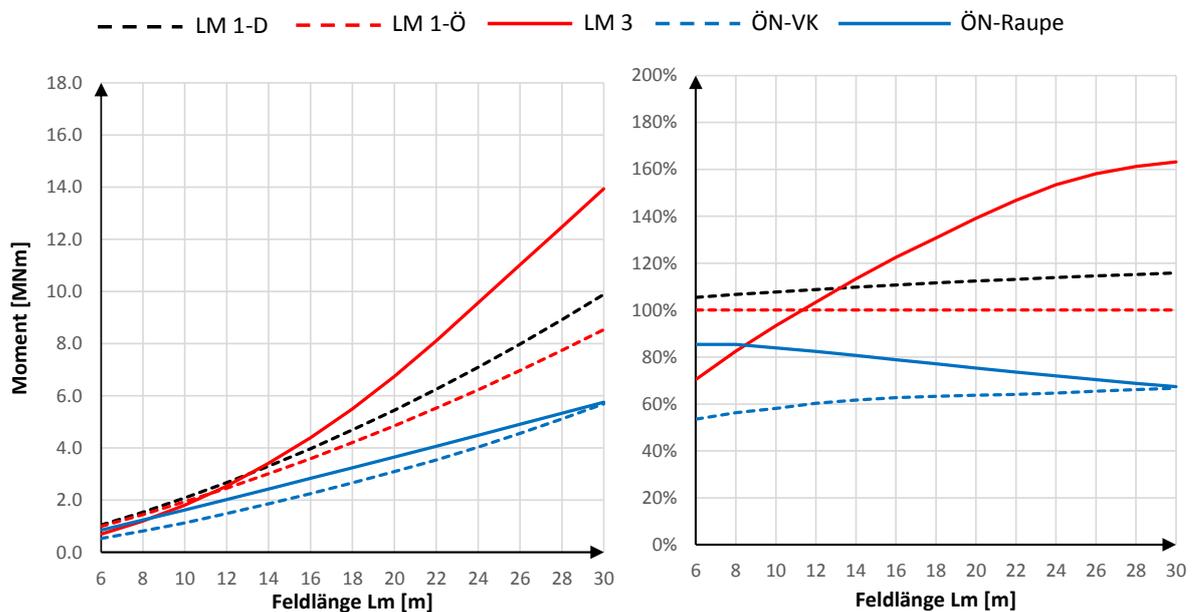


Abbildung 56 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{max} -Feldmoment

Bei der Untersuchung der Feldmomente lässt sich erkennen, dass die Lastannahmen der Eurocodes fast zur Gänze ein höheres Biegemoment als die Lastmodelle der ÖNORM B 4002 verursachen. Das LM1 weist bei allen Feldlängen eine höhere Momentenbelastung auf, während das LM3 erst ab Feldlängen von 9 Metern ungünstiger als die ÖNORM B 4002 wirkt. Da die Belastung durch das Raupenfahrzeug keine zusätzlichen Flächenlasten vorsieht, erfährt diese bei weiterer Erhöhung der Feldlängen immer einen kleineren Momentenzuwachs als die anderen Normen. Für die untersuchten Brückenlängen lässt sich zwischen dem LM1-Ö und der alten ÖNORM B 4002 ein Schnittkraftunterschied von 16 bis 30 % erkennen. Weiters lässt sich für übliche Brückengeometrien ableiten, dass das LM3 bis zu einer Feldlänge von 11 Metern nicht maßgebend für die Bemessung ist. Für das LM1-D gilt dies bis zu einer Feldlänge von 13 Metern. Dies hat den Grund, dass das Sonderfahrzeug des LM3 wegen seiner großen Länge bei kleinen Feldlängen nicht vollständig auf der Brücke aufgebracht werden kann und erst bei größeren Feldlängen mit der vollen Last wirkt. Für die gewählten geometrischen Randbedingungen verursachen die Verkehrslasten gemäß ÖNORM B 4002 die kleinsten Biegemomente. Verglichen mit dem Raupenfahrzeug aus der ÖNORM B 4002 erkennt man eine durchgehend höhere Momentenbeanspruchung durch das Sonderfahrzeug bis zu einem Schnitt bei 30 Meter Feldlänge. Dies rührt daher, dass die Lasten des Raupenfahrzeuges höher sind als jene der LKWs und dass die Flächenlast der Verkehrslasten bei einer Fahrbahnbreite von 7.5 Metern und bis zu einer Feldlänge von 30 Metern schwächer zur Geltung kommt als die Last zufolge des Raupenfahrzeuges.

5.1.1.2 Q_{MAX} MIT EINER BREITE VON 7.5 METERN

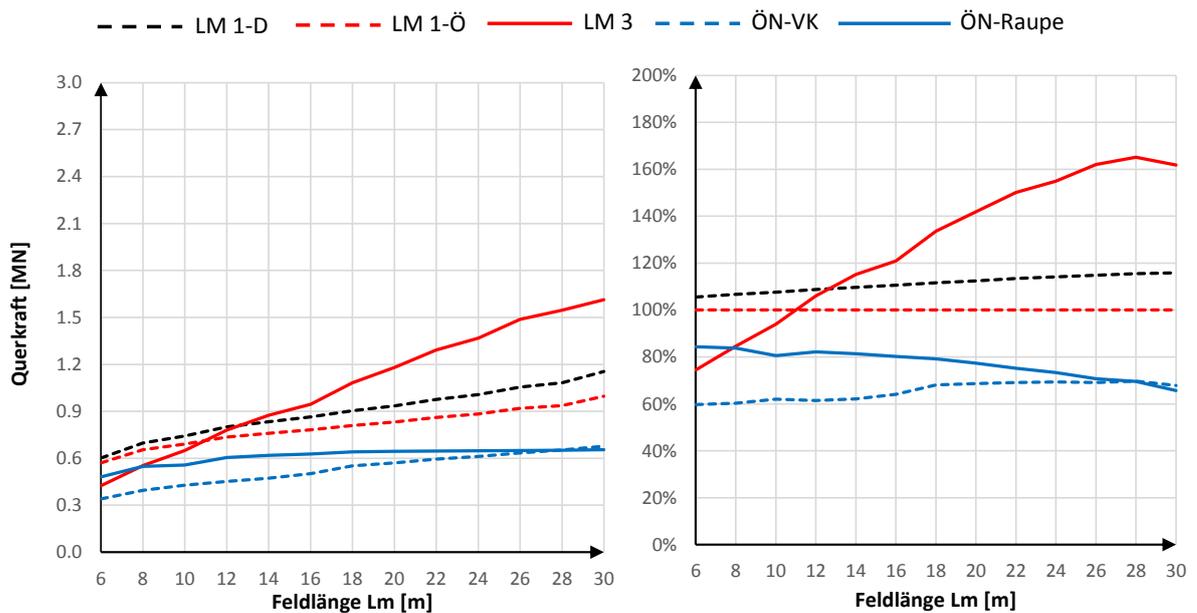


Abbildung 57 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/H=15; Q_{max} -Randaufleger

Für die Auswertung der Querkräfte lassen sich im Spektrum der untersuchten Längen ähnliche Erkenntnisse wie bei den Momenten ableiten. Die Schnittpunkte der Linien entstehen fast an den gleichen Stellen wie bei den Momentendiagrammen. Auch die prozentuelle Auslastung in Relation zum LM1-Ö ähnelt bei den Querkräften jenen in den Momentendiagrammen. Die ÖNORM B 4002 ist von der Auslastung um 16 bis 30 % kleiner als das LM1-Ö. Ein Unterschied zu den Momentendiagrammen, der bei allen Querkräftdiagrammen sichtbar ist, sind die weniger stetig verlaufenden Linien bei den Querkräften. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Querkräft die mathematische Ableitung der Momente darstellt und viel stärker von der Netzfeinheit beeinflusst wird. Aufgrund der Ähnlichkeit der Erkenntnisse wird hier auf das Vorgängerkapitel 5.1.1.1 verwiesen.

5.1.1.3 Q_{\min} MIT EINER BREITE VON 7.5 METERN

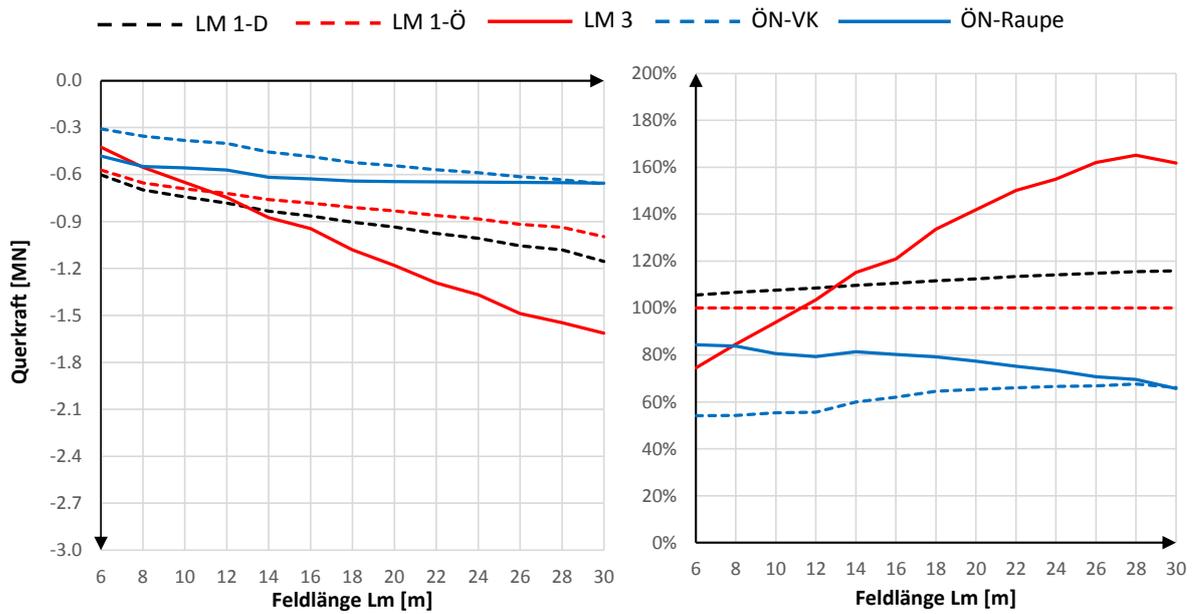


Abbildung 58 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{\min} Randaufleger

Die Resultate aus dem minimalen Querkraftdiagramm entsprechen den Erkenntnissen der Auswertung der maximalen Querkraft. Die minimalen Querkräfte sind betragsmäßig die gleichen wie die maximalen, weshalb das linke Diagramm die Spiegelung der maximalen Werte darstellt. Nur bei den Verkehrslasten aus der ÖNORM B 4002 handelt es sich um keine exakte Spiegelung, da die LKWs eine ungleichmäßige Lastverteilung auf den Vorder- und Hinterachsen aufweisen. Die Unterschiede zu den positiven Querkraftwerten sind jedoch vernachlässigbar klein, weshalb in weiterer Folge nur Q_{\max} -Diagramme dargestellt werden.

5.1.1.4 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

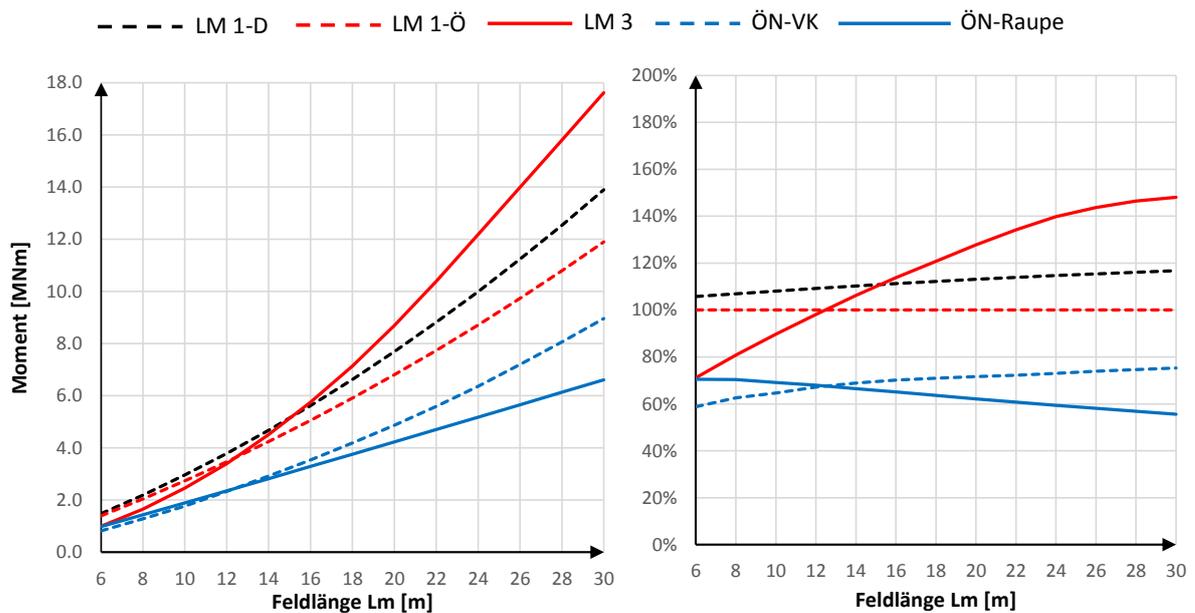


Abbildung 59 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{max} –Feldmoment

Im Momentendiagramm für eine Fahrbahnbreite von 12.5 Metern lassen sich einige Unterschiede zum schmaleren Tragwerk mit 7.5 Metern Breite feststellen. Die Momentenbelastungen fast aller Normen zeigen erwartungsgemäß höhere Werte. Mit der Vergrößerung der Breite wird die Einflussfläche der Hauptträger erhöht und es können mehr Fahrstreifen auf dem Tragwerk platziert werden. Ein wesentlicher Unterschied, der sich mit Zunahme der Breite erkennen lässt, ist die ungünstigere Wirkung von Lastmodellen mit einer hohen Flächenlast. Da das LM3 häufige Werte für die Flächenbelastung vorsieht und diese im Fahrstreifen 1 ohnehin nicht zur Geltung kommt, erfährt dieses bezogen auf das schmalere Tragwerk einen geringeren Zuwachs an Schnittkräften als die beiden LM1. So kann bei einer Breite von 12.5 Metern festgestellt werden, dass das LM1-Ö bis zu einer Feldlänge von 12 Metern ungünstiger als das LM3 wirkt. Noch stärker wirkt sich die größere Breite auf das LM1-D aus, wo dieses bis zu einer Feldlänge von 15 Metern ungünstiger als das LM3 wirkt. Die beiden LM1 verhalten sich in Relation zueinander gleich wie bei den Untersuchungen mit der geringeren Breite. Die Differenz der Momente zwischen dem deutschen und österreichischen Lastmodell wird mit steigender Einflussfläche größer, da die Flächenbelastung im deutschen Modell höher ist. Die Momente zufolge der Raupenbelastung aus der ÖNORM B 4002 haben bei der höheren Breite an Bedeutung verloren. Dies rührt daher, dass die Belastung durch die Raupe keine Flächenlast vorsieht und diese somit bei Vergrößerung der Fläche nicht wächst. Aus diesem Grund gibt es nun einen Schnitt der Verkehrslast und des Raupenfahrzeuges gemäß ÖNORM B 4002 im Diagramm, da die Verkehrslast Flächenlasten vorsieht. Die Momentenbeanspruchung durch die Verkehrsbelastung gemäß ÖNORM B 4002 ist verglichen mit der geringeren Breite in Relation zu den anderen Lastmodellen gewachsen. Dies hat den Grund, dass die ÖNORM B 4002 schmalere Fahrstreifen vorsieht, weshalb auf gleicher Breite mehr Fahrstreifen Platz haben und diese somit zentrischer über dem Hauptträger angeordnet werden. Die Grunderkenntnis aus dem breiteren System ist die, dass die Lastmodelle aus den Eurocodes ungünstiger wirken als jene der ÖNORM B 4002. Die ÖNORM B 4002 weist eine um etwa 20 bis 30 % geringere Belastung als das LM1-Ö auf. Weiters ist mit der Erhöhung der Fahrbahnbreite die seitliche Auskragung größer geworden. Die seitliche Auskragung stellt gemäß Quereinflusslinie die ungünstigste Stelle für die Belastung eines Hauptträgers dar (siehe Abbildung 38). Da die Lasten für die Randhauptträger (bei zwei Hauptträgern sind beide HT Randhauptträger) am Fahrbahnrand aufgebracht werden, stellt dies einen weiteren Grund für die Momentenzuwächse dar.

5.1.1.5 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

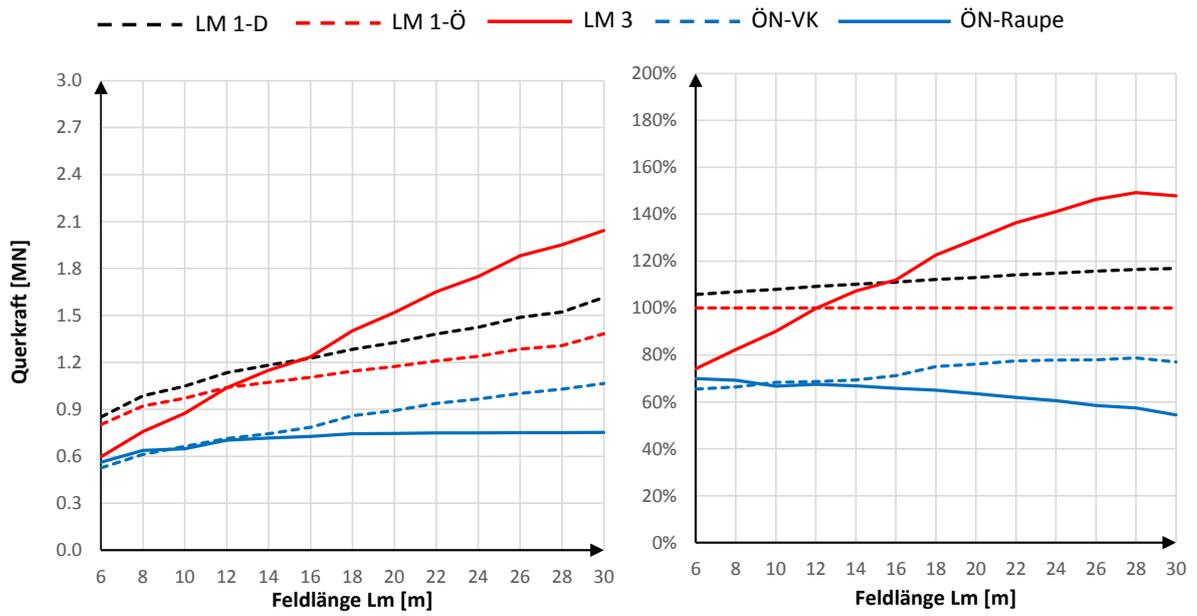


Abbildung 60 Felder=1; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; Q_{max} -Randaufleger

Die Resultate aus dem Querkräftdiagramm ähneln wieder jenen aus dem Momentendiagramm. Die Schnittstellen in den Diagrammen sind an den gleichen Stellen wie in den Momentendiagrammen zu finden. Auch die prozentuellen Auslastungen sind ähnlich zu denen im Momentendiagramm. Die Erkenntnisse aus dem Q_{max} -Diagramm gelten ebenfalls für Q_{min} .

5.1.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE FÜR ZWEIFELDTRÄGER

Analog zu den Einfeldbrücken erfolgt die Auswertung der 2-Feldbrücken. Zusätzlich tritt nun ein Stützmoment über dem Mittelaufleger auf.

5.1.2.1 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

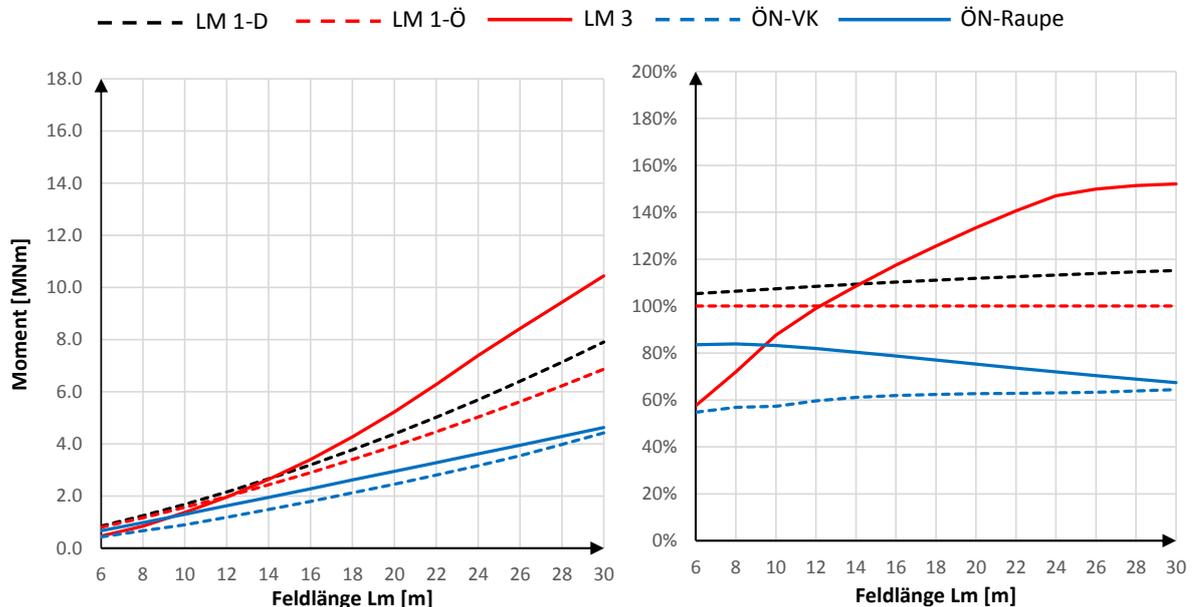


Abbildung 61 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{max} -Feldmoment

Man erkennt bei Zweifeldträgersystemen, dass die Absolutwerte der Momente verglichen mit dem Einfeldträger sinken. Dies hat den Grund, dass nun im Gegensatz zum einfeldrigen System ein Stützmoment über dem Mittelaufleger auftritt, welches sich an der Abtragung der Lasten beteiligt. Es handelt sich hierbei um eine Differenz von 20 bis 25 %, um welche das Feldmoment in Relation zum Einfeldträger kleiner geworden ist. Relativ zueinander verhalten sich die Lastmodelle ähnlich wie bei einem einfeldrigen System. Einen Unterschied stellt das LM3 dar, welches erst ab einer Feldlänge von 12 Metern ungünstiger wirkt als das LM1-Ö und erst ab 14 Metern ungünstiger als das LM1-D. Dies liegt an der Länge des Sonderfahrzeuges und wurde bereits in 5.1.1.1 erläutert. Bei zweifeldrigen Systemen startet das LM3 bei etwa 60 % der Beanspruchung des LM1-Ö während es beim einfeldrigen System bei etwa 70 % startet. In beiden Diagrammen beträgt die Endauslastung etwa 150 bis 160 % des LM1-Ö. Zwischen dem LM1-Ö und der ÖNORM B 4002 ergibt sich eine 18 bis 30 % geringere Belastung bei der ÖNORM B 4002. Für die Beziehung der Verkehrslasten und dem Raupenfahrzeug aus der ÖNORM B 4002 gelten die Erläuterungen aus dem Kapitel 5.1.1.1. Interessant ist die Abflachung des LM3 im rechten Diagramm, welche bedeutet, dass die Zunahme der Biegebeanspruchung bei zunehmender Spannweite bei den Lastmodellen LM1 und LM3 etwa gleich ist. Ein weiterer Schnitt der Diagrammlinien des LM3 und des LM1 kann im Diagramm nicht beobachtet werden.

5.1.2.2 M_{\min} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN.

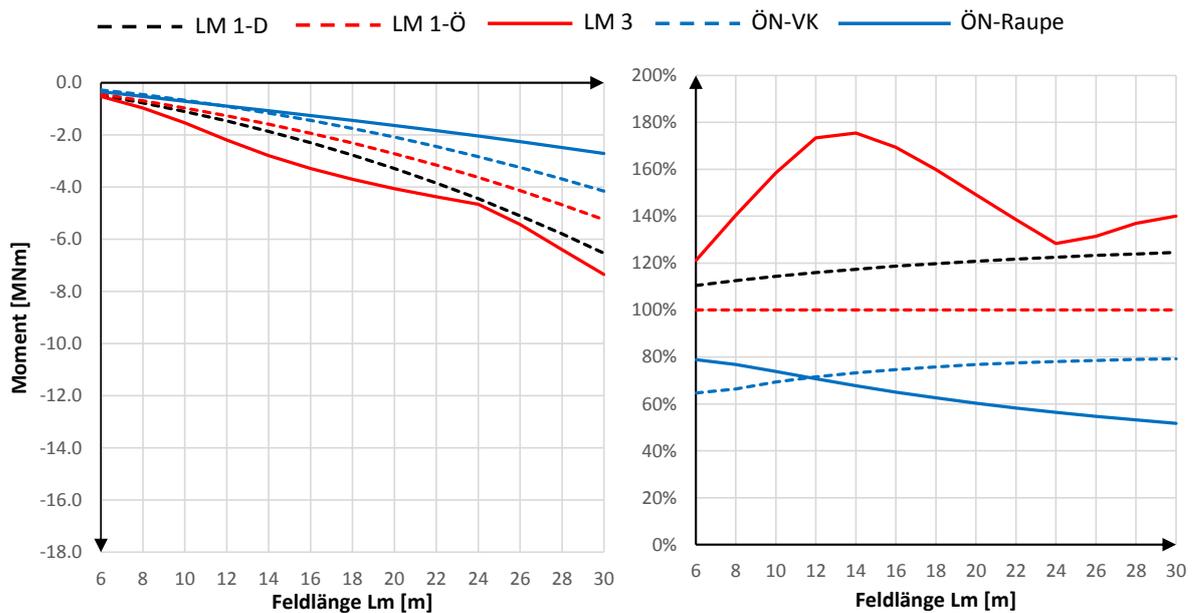


Abbildung 62 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\min} -Stützmoment

Bei der Auswertung der Stützmente wird ersichtlich, dass die absoluten Werte unter jenen aus den Feldmomentendiagrammen liegen. Dies liegt daran, dass die Achslasten der Fahrzeuge bei Positionierung über der jeweils maßgebenden Stelle ungünstiger auf das Feldmoment wirken als auf das Stützmoment (Vergleiche Momenteneinhüllende eines mit Wanderlast belasteten Zweifeldträgers). Es handelt sich dabei um einen Faktor von 25 %, um welchen die Stützmente geringer sind. Weiters ist das Moment aus dem LM3 für alle untersuchten Feldlängen maßgebend. Das LM3 weist bis zu einer Länge von 12 Metern einen verhältnismäßig steilen Anstieg der Momentenbelastung auf. Bei 14 Metern Feldlänge erreicht das LM3 einen Maximalwert, bevor es bis zu einem Knick bei 24 Metern Stützweite abflacht. Dieser Knick entsteht durch eine neue Positionierung des Sonderfahrzeuges und durch eine bei 26 Metern Stützweite erstmalige Mitwirkung des häufigen LM1, welches 25 Meter vor dem Sonderfahrzeug positioniert ist. Die neue Lastpositionierung ist nun jene, dass die Anteile des häufigen LM1 im zweiten Feld zum Stützmoment beitragen, während das Sonderfahrzeug des LM3 im ersten Feld dazu beiträgt. Von 26 bis 30 Meter Stützweite stellt die Positionierung des Sonderfahrzeuges zentrisch über dem mittleren Auflager nicht mehr die ungünstigste Laststellung dar. Es lässt sich somit festhalten, dass das LM3 für die Bemessung der Stützmente bei zweifeldrigen Systemen bestimmend ist, da das Sonderfahrzeug durch seine lange Geometrie beim Queren des Mittelaufgangers beide angrenzenden Felder belastet und dies hohe Stützmente verursacht. Die Lastmodelle der ÖNORM B 4002 erfahren im Diagramm der Stützmente einen Schnitt, ab welchem die LKW Lasten ungünstiger wirken als das Raupenfahrzeug. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Belastung aus Verkehr Flächenlasten vorsieht und diese das Stützmoment erhöhen. Insgesamt lässt sich im Vergleich zwischen ÖNORM B 4002 und dem LM1-Ö eine 20 % niedrigere Momentenbelastung bei der ÖNORM B 4002 erkennen. Die Schnittkräfte des LM1 aus dem österreichischen und deutschen Anhangdokument verhalten sich bei den untersuchten Längen ähnlich wie bei den Feldmomenten.

5.1.2.3 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

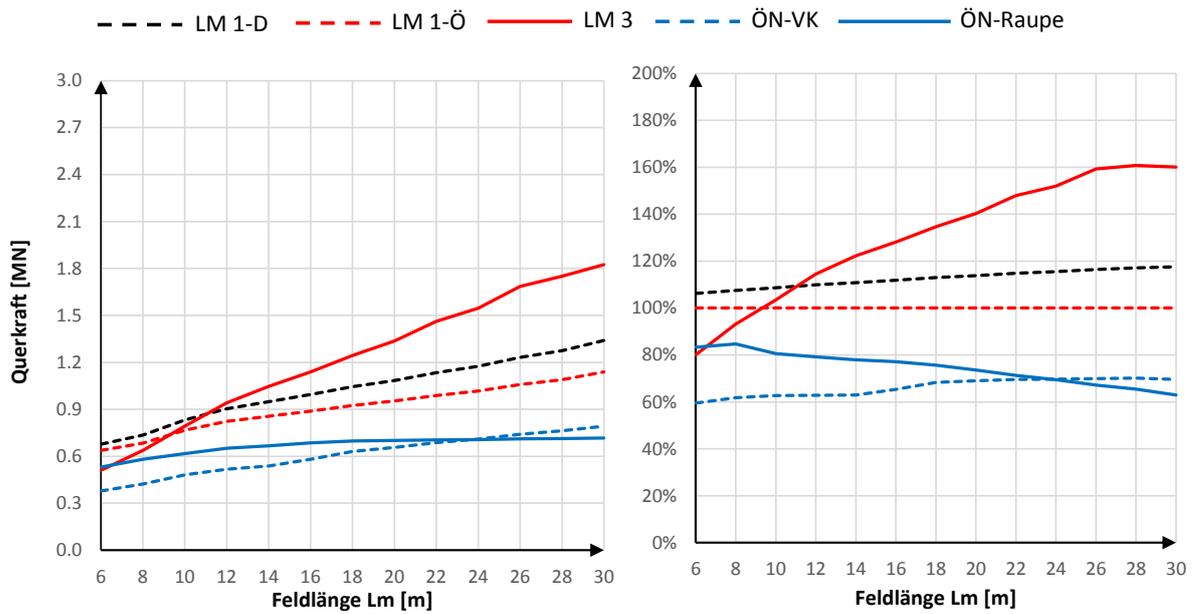


Abbildung 63 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{max} -Mittelaufleger

Das Diagramm der maximalen Querkraft ähnelt beim zweifeldrigen Tragwerk jenem des einfeldrigen. Ein Unterschied der sich ergibt ist, dass das LM3 bereits ab einer geringeren Feldlänge maßgebend wird. Dies hat den Grund, dass beim zweifeldrigen System eine hohe Querkraft bei einer beidseitigen Belastung der Felder auftritt. Das LM3 schneidet aufgrund seiner Länge schon bei kürzeren Feldlängen als beim einfeldrigen System die beiden Kurven des LM1 im Diagramm. Der Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö und LM1-D erfolgt bei 9 und 11 Metern. Die Ausnutzung zufolge ÖNORM B 4002 ist um etwa 18-25 % geringer als jene des LM1-Ö. Die maximale Querkraft beim zweifeldrigen System erweist sich als ungefähr 13 % höher als beim einfeldrigen System. Dies liegt an der größeren Einflussfläche, welche bei zwei Feldern gegeben ist. Die Erkenntnisse aus dem Q_{max} Diagramm gelten ebenfalls für Q_{min} .

5.1.2.4 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

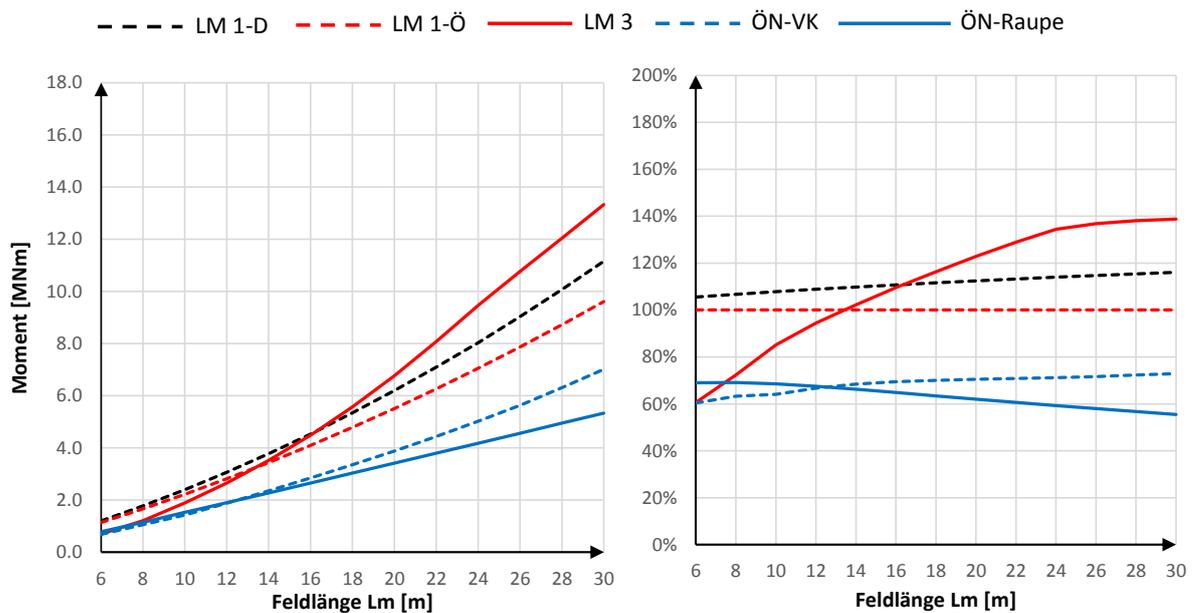


Abbildung 64 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/H=15; M_{max} -Feldmoment

Die Momente sind aufgrund der breiteren Brücke und der höheren Anzahl der Fahrstreifen nun größer als bei dem schmälere Tragwerk. So wie bereits beim Einfeldträger lässt sich hier eine Abschwächung des LM3 und des Raupenfahrzeuges beobachten, da das Raupenfahrzeug keine Flächenlast und das LM3 für die untersuchten Längen im Fahrstreifen 1 auch keine Flächenlasten erfährt. So wird der Schnitt zwischen den beiden LM1 und dem LM3 im Diagramm nach rechts verschoben und der Schnitt zwischen den beiden Lastmodellen der ÖNORM B 4002 nach links verschoben. Bei der höheren Breite verursacht die ÖNORM B 4002 25-30 % weniger Momentenbelastung als das LM1-Ö. Der Unterschied zwischen dem breiten und dem schmalen Tragwerk verhält sich ähnlich wie beim einfeldrigen System, weshalb auf das Kapitel 5.1.1.4 verwiesen wird.

5.1.2.5 M_{\min} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

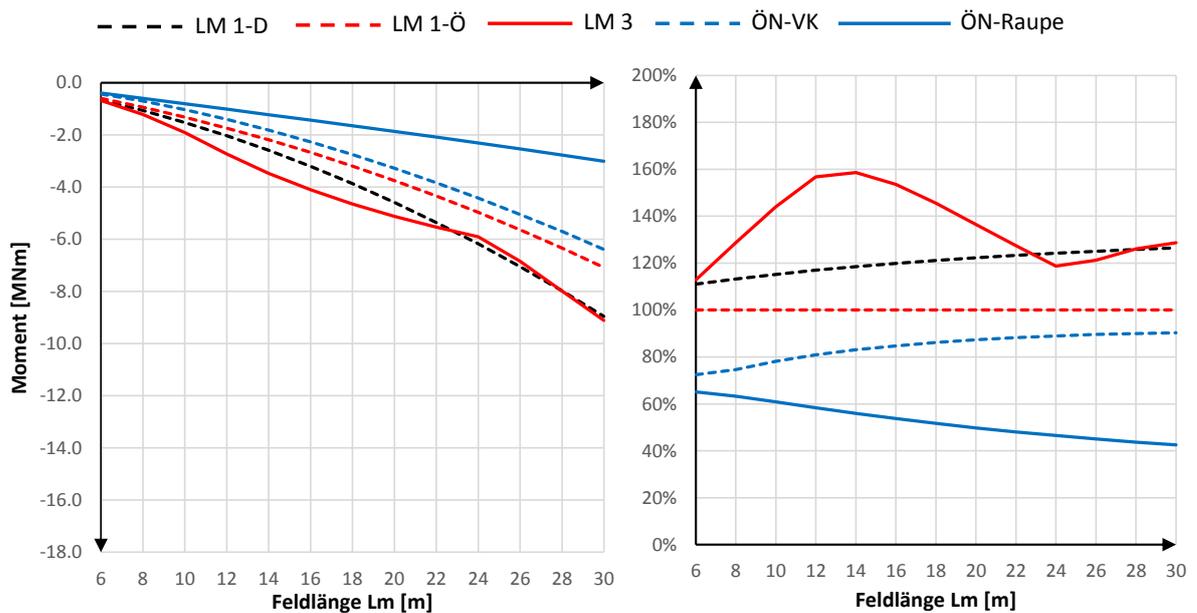


Abbildung 65 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; M_{\min}

Das Diagramm für eine Breite von 12.5 Metern ähnelt jenem für eine Breite von 7.5 Metern. Hinzu kommen die bereits beobachteten Unterschiede bei Verbreiterung der Fahrbahn. So ist das LM3 nur mehr bis 23 und ab 28 Meter bestimmend. Weiters ist bei der ÖNORM B 4002 die Verkehrslast durchgehend höher als die Raupenlast. Die beiden LM1 verhalten sich beide ähnlich wie bei dem schmäleren Brückenobjekt. Der Unterschied zwischen dem breiten und schmalen Tragwerk verhält sich ähnlich wie beim einfeldrigen System, weshalb auf das Kapitel 5.1.1.4 verwiesen wird. Der Knick, der in 5.1.2.2 erläutert wird, tritt im Diagramm mit der größeren Fahrbahnbreite ebenfalls bei 24 Metern auf. Die Ursache für den Knick wird in 5.1.2.2 erklärt. Durch die allgemeine ungünstigere Wirkung des LM1 bei Vergrößerung der Fahrbahnbreite gegenüber dem LM3 gibt es zwischen dem LM1 nach deutschem Anhang nun zwei Schnitte mit dem LM3. Das bedeutet, dass zwischen einer Stützweite von 23 und 28 Metern das LM1-D ungünstiger wirkt als das LM3.

5.1.2.6 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

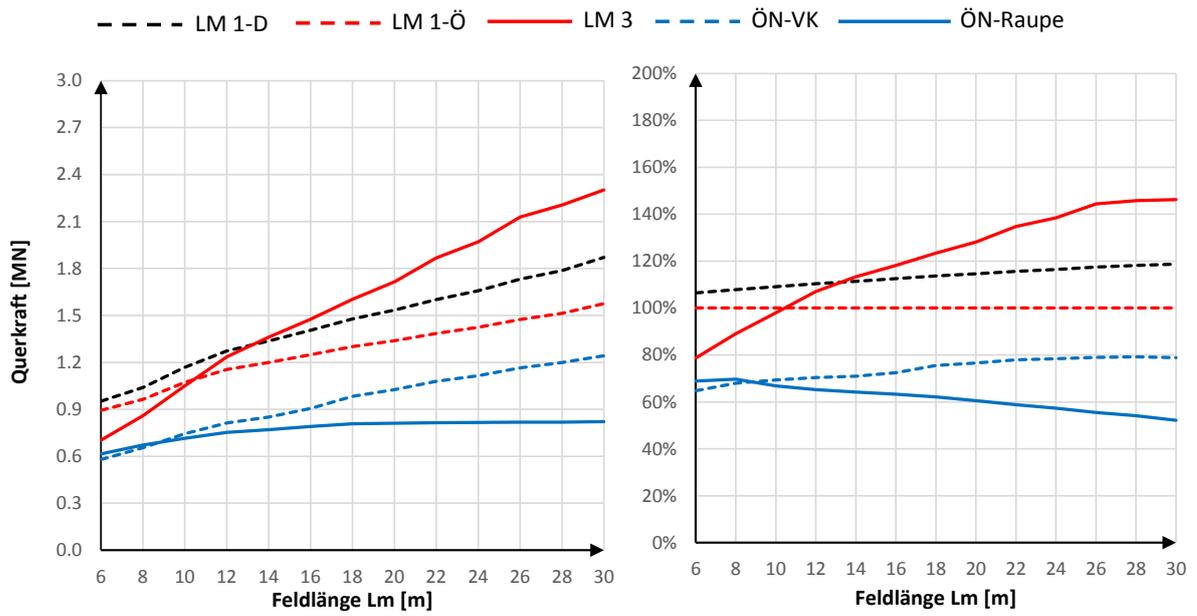


Abbildung 66 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; Q_{max} -Mittelaufleger

Aus dem Querkräftdiagramm können ähnliche Schlüsse wie aus dem M_{max} -Diagramm gezogen werden. Die höhere Breite schwächt das LM3 und die Raupenfahrzeuge im Vergleich zu den anderen Normen ab. Die Feststellungen aus dem Q_{max} -Diagramm gelten ebenfalls für Q_{min} .

5.1.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE FÜR DREIFELDTRÄGER

Analog zu den bereits untersuchten Längssystemen erfolgt die Auswertung der Dreifeldbrücken.

5.1.3.1 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 7.5 METER

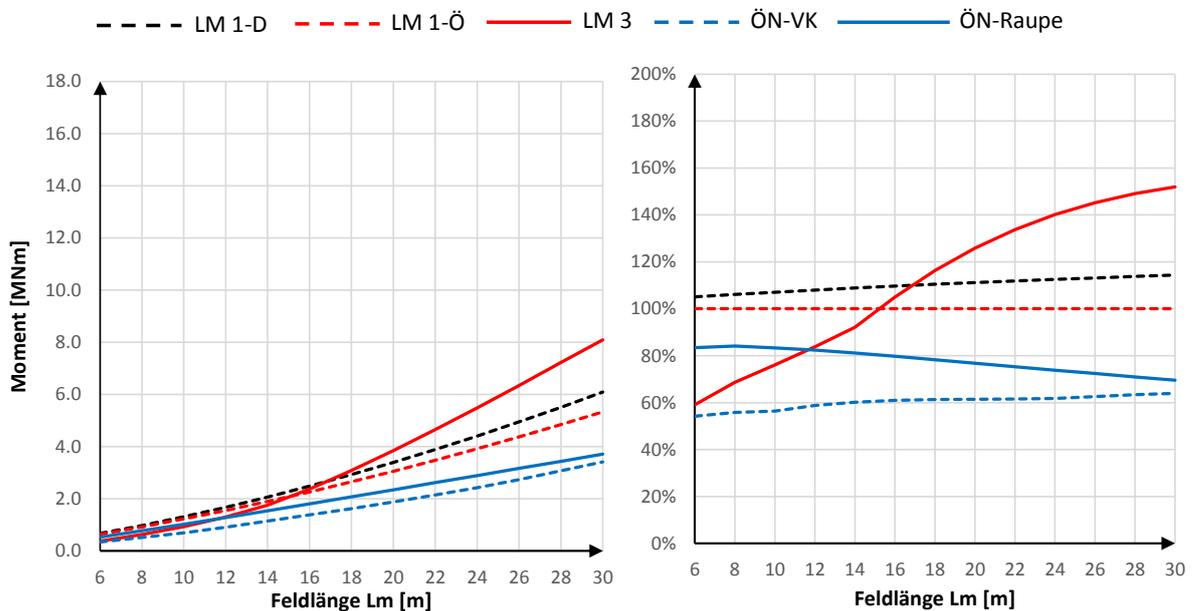


Abbildung 67 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/H=15; M_{max} - Feldmitte im Mittelfeld

Bei dem dreifeldrigen Träger erkennt man, dass die Schnittkräfte verglichen mit dem Zweifeldträger um ungefähr 33 Prozent geringer sind, da es nun zwei Stützpunkte gibt, die sich an der Abtragung der Lasten beteiligen und das Moment über die Auflager ziehen. Die beiden LM1 und die Lastmodelle der ÖNORM B 4002 verhalten sich relativ zueinander gleich wie bei den zwei zuvor untersuchten Längssystemen. Man erkennt, dass das LM3 bei dem untersuchten System erst später zur Geltung kommt und der Schnitt mit dem LM1-Ö und LM1-D erst bei 15 beziehungsweise 17 Metern erfolgt. Der Grund hierfür liegt in der geometrischen Länge des Sonderfahrzeuges des LM3. Dieses ragt beim dreifeldrigen System bei kurzen Längen immer in das Anfangs- und Endfeld, wodurch das Feldmoment reduziert wird. Erst wenn das Sonderfahrzeug sich zum Großteil im Mittelfeld befindet, entfaltet es seine ungünstigste Wirkung auf das Feldmoment. Die Lastmodelle gemäß ÖNORM B 4002 verursachen um etwa 20 bis 30 % geringere Momente als das LM1-Ö. Abgesehen vom LM3 ähnelt das Verhalten der Normen in Relation zum LM1 dem bisher Erläuterten, weshalb auf 5.1.1.1 verwiesen wird.

5.1.3.2 M_{\min} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

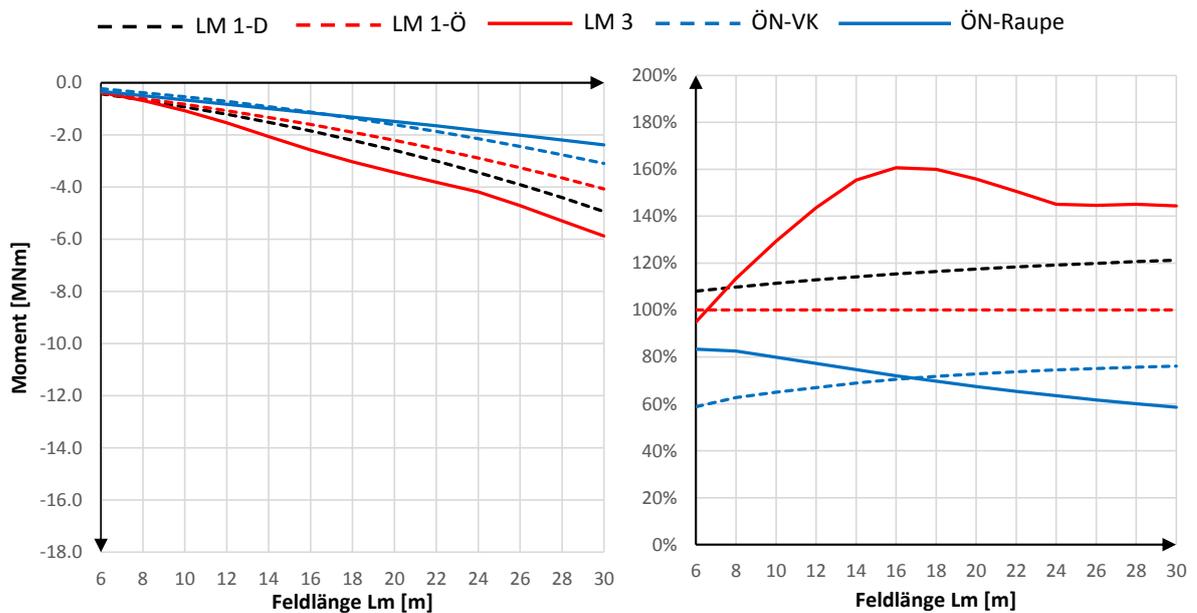


Abbildung 68 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\min} -Innenstütze

Verglichen mit den Zweifeldträgern sind die Stützmente beim Dreifeldträger etwas kleiner. Dies liegt unter anderem daran, dass beim untersuchten System das erste Feld kürzer als das Mittelfeld ist und somit ein geringerer Einflussbereich vorhanden ist. Die beiden LM1 verhalten sich relativ zueinander gleich wie bei dem zuvor untersuchten Längssystem. Die Lastmodelle gemäß ÖNORM B 4002 schneiden sich im aktuellen Diagramm erst bei einer größeren Feldlänge als zuvor. So wird die Beanspruchung aus der Verkehrsbelastung gemäß ÖNORM B 4002 erst aber einer Feldlänge von 17 Metern höher als jene durch das Raupenfahrzeug. Einen weiteren Unterschied stellt das LM3 dar, welches nicht mehr durchgehend die maximalen Schnittkräfte aufweist und im Anfangsbereich des Diagramms zu weniger Auslastung als die beiden LM1 führt. Dies liegt daran, dass die Randfelder kürzer als das Mittelfeld sind und das Sonderfahrzeug des LM3 bei kurzen Feldern seine volle Wirkung nicht entfalten kann. Relativ zum LM1-Ö weist das LM3 einen Auslastungszenit von 160 % bei 16 Metern Feldlänge auf. Verglichen mit dem Zweifeldträger ist dieser Wert geringer und tritt erst bei einer größeren Feldlänge auf, da das LM3 bei zwei angrenzenden, gleich langen Feldern seine ungünstigste Wirkung auf das Stützmoment hat. Die ÖNORM B 4002 weist verglichen mit dem LM1-Ö um etwa 20 bis 30 % geringere Momente auf. Der Knick im Verlauf des LM3 entsteht ebenfalls durch eine ab 26 Metern neue Positionierung des Sonderfahrzeuges wie in Kapitel 5.1.2.2 erläutert.

5.1.3.3 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

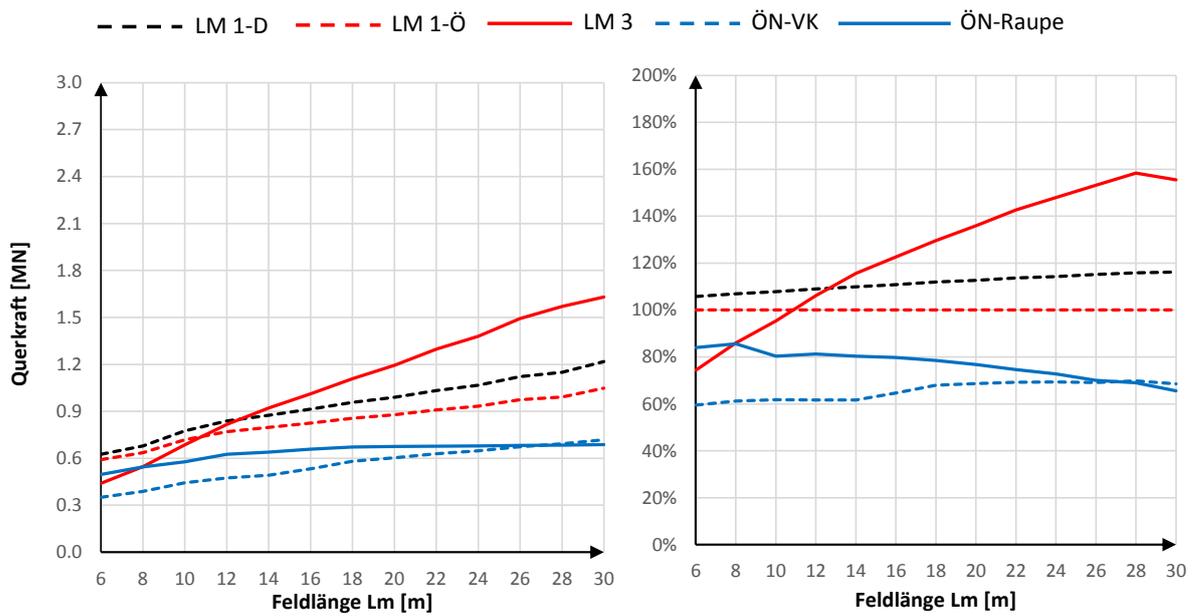


Abbildung 69 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{max} -Mittelaufleger

Das Querkraftdiagramm im dreifeldrigen System erweist sich als ähnlich zum einfeldrigen System. Die Werte der Schnittkräfte und auch das relative Verhalten zueinander sind fast ident. Die maximale Querkraft erweist sich beim dreifeldrigen System als um ungefähr 13 Prozent geringer als beim zweifeldrigen System. Die Erkenntnisse aus dem Q_{max} -Diagramm gelten ebenfalls für Q_{min} .

5.1.3.4 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

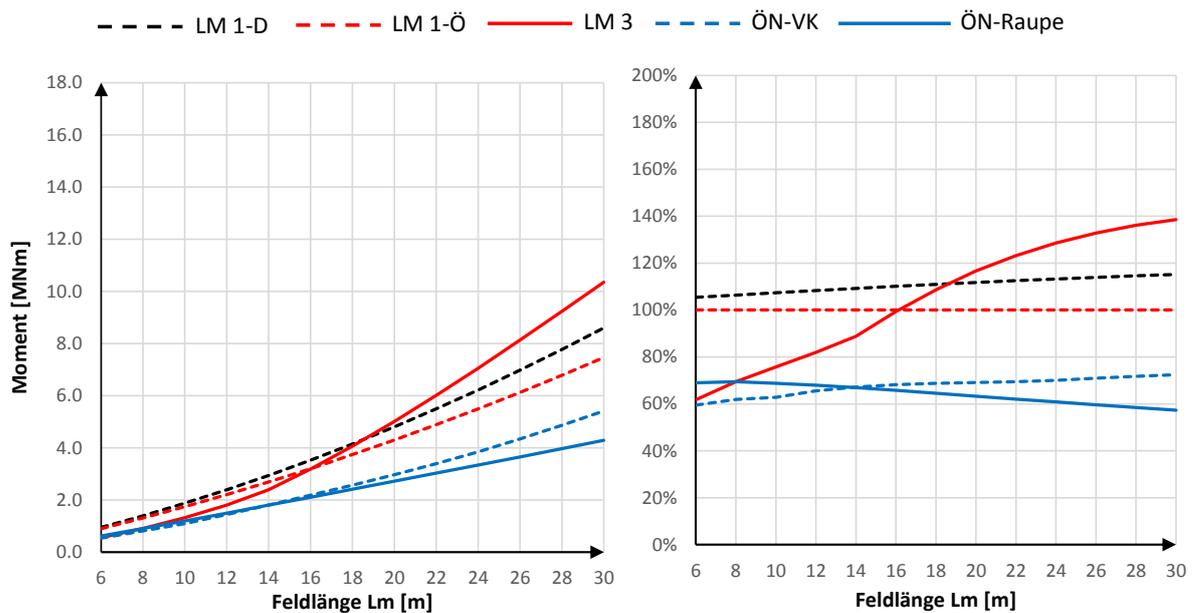


Abbildung 70 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; M_{max} -Feldmitte im Mittelfeld

Die Erhöhung der Breite beim dreifeldrigen System bringt die bereits bekannten Veränderungen mit sich. Die Momente werden im Vergleich zum schmalen System erwartungsgemäß höher. Der Schnitt des LM3 mit den beiden LM1 verschiebt sich im Diagramm nach rechts auf 16 und 18 Meter. Dies liegt an der Erhöhung der Fahrbahnbreite und daran, dass das Sonderfahrzeug durch seine große Länge bei kurzen Feldlängen in das Anfangs- und Endfeld ragt, was wiederum das Feldmoment verkleinert. Aus diesem Grund findet der Schnitt des LM3 mit den beiden Linien des LM1 beim dreifeldrigen System erst bei höheren Feldlängen als in den zuvor untersuchten Längssystemen statt. Weiters sind die Momente bei einer Breite von 12.5 Metern wie beim schmalen System um ungefähr 33 % geringer als beim Zweifeldträger. Das dreifeldrige System weist somit die niedrigsten Momente auf. Die beiden Lastmodelle aus der ÖNORM B 4002 weisen ungefähr 30 % geringere Schnittkräfte auf als das LM1-Ö.

5.1.3.5 M_{\min} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

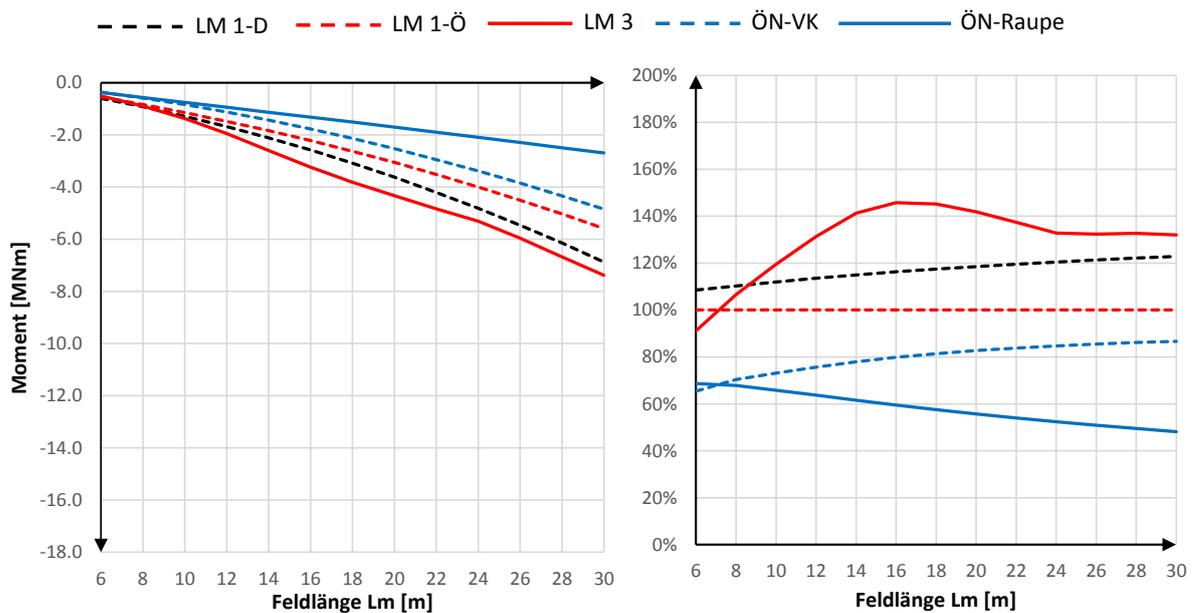


Abbildung 71 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; M_{\min} -Stützmoment

Aus dem Diagramm können ähnliche Erkenntnisse wie aus dem zweifeldrigen Tragwerk gewonnen werden. Relativ zueinander verhalten sich die Normen bis auf das LM3 fast ident zum Zweifeldträger. Ein Unterschied ist, dass das LM3 nicht durchgehend die größten Schnittkräfte aufweist. Dies liegt daran, dass das Sonderfahrzeug des LM3 aufgrund des kürzeren Anfangsfeldes nicht die gleiche Wirkung wie beim zweifeldrigen System entfalten kann. Ein bereits beobachteter Unterschied sind die betragsmäßig kleineren Schnittkräfte, welche sich durch die Ungünstigkeit des zweifeldrigen Systems und dessen gleich langen Felder einstellen. Bei dem breiteren System sind die Schnittgrößen aus dem dreifeldrigen System ungefähr um 20 Prozent geringer als beim zweifeldrigen System. Dies liegt daran, dass es beim dreifeldrigen System bezogen auf die Brückengesamtlänge mehr Auflager als beim zweifeldrigen System gibt. Beim dreifeldrigen System entsteht im Verlauf des LM3 ebenfalls ein Knick bei 24 Metern Feldlänge, jedoch gibt es beim dreifeldrigen Tragwerk keinen weiteren Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3. Der Grund hierfür liegt darin, dass das LM1 vor allem bei zweifeldrigen System durch die Flächenlasten eine sehr ungünstige Wirkung hat. Dieses Maß an Ungünstigkeit kann beim dreifeldrigen System nicht aufgebracht werden.

5.1.3.6 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

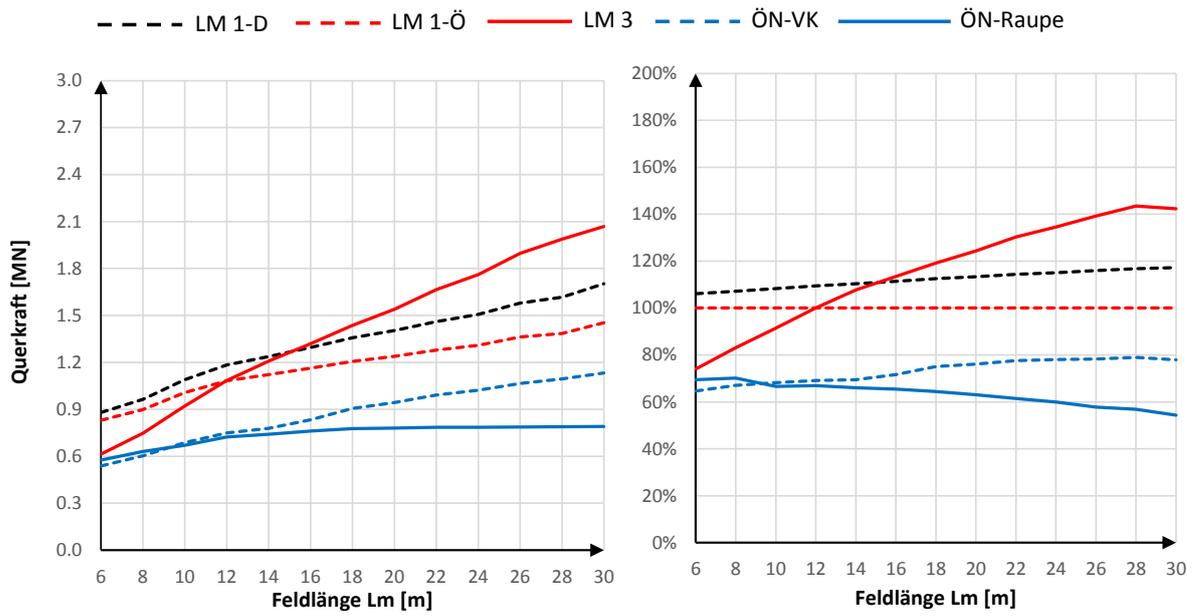


Abbildung 72 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; Q_{max}

Es können die gleichen Erkenntnisse wie beim zweifeldrigen System gewonnen werden. Die Feststellungen aus dem Q_{max} - Diagramm gelten ebenfalls für Q_{min} .

5.1.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Im Nachfolgenden werden die in den Diagrammen beobachteten Resultate zusammengefasst.

Verkehrslasten zufolge Eurocodes verursachen höhere Schnittkräfte als jene der ÖNORM B 4002

Ein Effekt, welcher bei allen Diagrammen beobachtet werden kann, ist, dass die Lastmodelle aus den Eurocodes strengere Lastannahmen treffen als die ÖNORM B 4002. In den meisten Fällen wirken die Eurocodes um mindestens 20 Prozent ungünstiger als die ÖNORM B 4002. Bei Brücken mit größerem Hauptträgerabstand kommen die Schnittkräfte der ÖNORM B 4002 etwas näher an das LM1-Ö heran. Dies beruht auf den schmälere Fahrstreifen der ÖNORM B 4002. Dadurch können mehr Fahrstreifen und somit auch LKWs auf dem Tragwerk platziert werden.

LM1 beim Feldmoment bis zu gewissen Längen ungünstiger als das LM3

Ein weiteres Ergebnis ist, dass das Feldmoment des LM3 erst ab gewissen Feldlängen größer ist als das zufolge LM1-Ö und LM1-D. Dies hat den Grund, dass das Sonderfahrzeug des LM3 (3000/200) eine Gesamtlänge von 21 Metern hat und bei kurzen Feldlängen nicht mit seiner vollen Last wirkt, während die Achslasten des LM1 schon ab kurzen Längen zu 100 % wirken.

LM3 bei Stützmomenten maßgebend

In allen Diagrammen kann beobachtet werden, dass das maßgebende Stützmoment durch das LM3 entsteht. Dies ist wieder auf die Größe des Sonderfahrzeuges zurückzuführen, da es mit seiner Länge zwei benachbarte Felder gleichzeitig beanspruchen kann, wodurch das Stützmoment erhöht wird. Weiters kann bei gewissen Feldlängen ein Auslastungszenit durch das LM3 festgestellt werden. So sind bei einem Zweifeldträger Feldlängen von 12 bis 14 Meter sehr ungünstig, was die Entwicklung des Stützmomentes verglichen mit dem LM1-Ö betrifft. Der Auslastungszenit bei Dreifeldträgern tritt erst bei einer Mittelfeldlänge von 16 Metern auf. Es kann weiters beobachtet werden, dass zweifeldrige Systeme die größeren Stützmomente mit sich bringen. Der Grund hierfür liegt in den gleich langen Feldlängen beim Zweifeldträger, wodurch mehr Einflussfläche entsteht.

Absteigende Momentenbelastung bei Erhöhung der Feldanzahl

Es kann beobachtet werden, dass die Feldmomente mit steigender Anzahl der Felder immer kleiner werden. Dies hat den Grund, dass Einfeldträger die gesamte Last über Feldmomente abtragen, da keine Stützmomente auftreten. Bei zwei- und dreifeldrigen Systemen wirken die Stützmomente entlastend.

Querkraftverhalten

Für die untersuchten Systeme kann festgestellt werden, dass die Erkenntnisse der M_{\max} -Momente auf die Querkräfte übertragen werden können. Auch die Schnittpunkte der Kurven korrelieren miteinander.

Lastmodelle mit kleiner Flächenlast verlieren bei Erhöhung der Fläche an Bedeutung

Die Erhöhung der Fläche durch Vergrößerung der Breite oder Länge steigert den Anteil der Flächenlast an der Beanspruchung. Dadurch verlieren Lastmodelle mit anteilmäßig großer Achslast beim Vergrößern der Fahrbahnfläche in Relation zu Lastmodellen mit großen Flächenlasten an Bedeutung. Dies lässt sich anhand des LM3 erkennen, welches bei breiteren Systemen prozentuell zum LM1 geringere Belastungen aufweist als bei schmalen Systemen.

Scheinbar linearer Verlauf von LM1-D relativ zu LM1-Ö

Man erkennt in allen Diagrammen einen scheinbar linearen Anstieg des LM1-D in Relation zum LM1-Ö. Dies hat den Grund, dass die Schnittkräfte bei konventionellen Feldlängen hauptsächlich durch die Achslasten verursacht werden, jedoch mit steigender Feldlänge die Flächenlast an Bedeutung zunimmt. Da die α -Werte nur mit den Flächenlasten multipliziert werden, steigt mit der Erhöhung der Feldlänge der Quotient der Schnittkräfte der beiden Normen. Dieser scheinbar lineare Anstieg konvergiert jedoch gegen einen Grenzwert aus Mischungen der deutschen α -Werte. Bei nur einem Fahrstreifen entspricht der Grenzwert dem deutschen α_{q1} Wert von 1.33.

5.2 ERWEITERUNG DER ERGEBNISUNTERSUCHUNG

In diesem Abschnitt wird die Ergebnisuntersuchung ausgeweitet. Ziel der erweiterten Untersuchung ist die Ermittlung jener Stützweiten, ab welchen das LM1-Ö und das LM1-D ungünstiger als das LM3 wirken. Die untersuchten Parameter der erweiterten Ergebnisuntersuchung werden in Tabelle 20 dargestellt. Die maßgebenden Auswertungsstellen sind die gleichen wie im vorherigen Abschnitt und werden in 4.3.2 erläutert. Die untersuchten Lastmodelle verändern sich nicht und sind in Tabelle 19 ersichtlich. Die Ergebnisdarstellung bleibt unverändert.

Tabelle 20 Parameter der erweiterten Ergebnisuntersuchung

| Bedeutung | Werte |
|--------------------------------------|--|
| Feldlänge des Mittelfeldes (L_m) | 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 [m] |
| Anzahl der Hauptträger | 2 [-] |
| Anzahl der Felder | 1, 2, 3 [-] |
| Breite | 7.5, 12.5 [m] |
| L_m/H - Verhältnis der HT | 15 [-] |

5.2.1 DISKUSSION DER ERGEBNISSE FÜR EINFELDTRÄGER

5.2.1.1 M_{MAX} MIT EINER BREITE VON 7.5 METERN

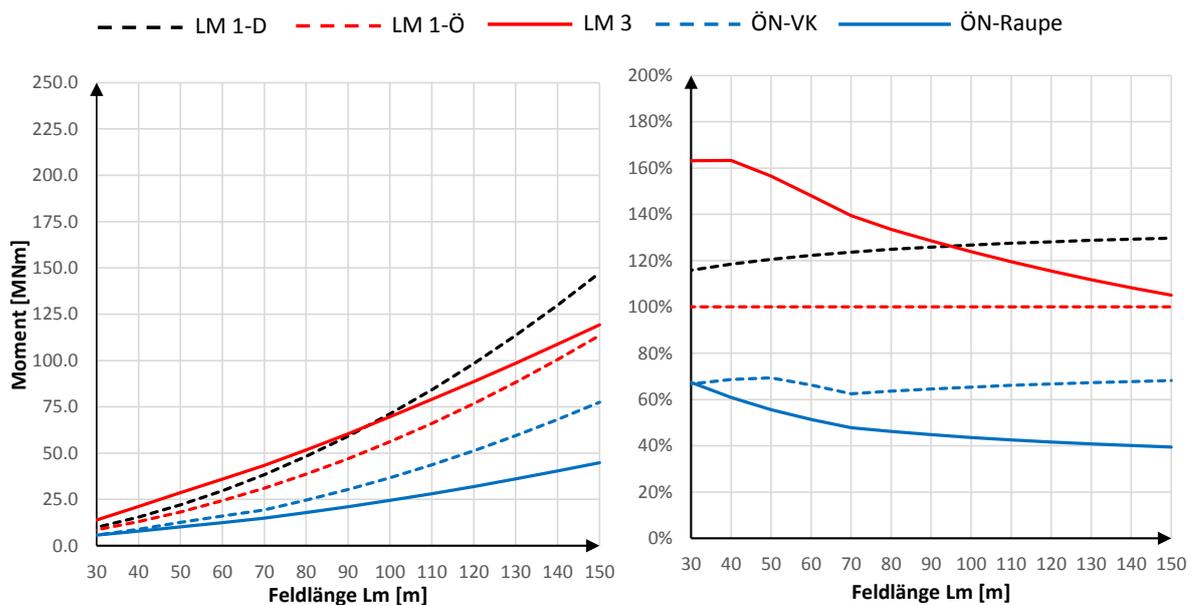


Abbildung 73 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{max} -Feldmoment

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 96 Metern Stützweite beobachtet werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö ist zufolge der untersuchten Stützweiten im Diagramm nicht ersichtlich.

5.2.1.2 Q_{MAX} MIT EINER BREITE VON 7.5 METERN

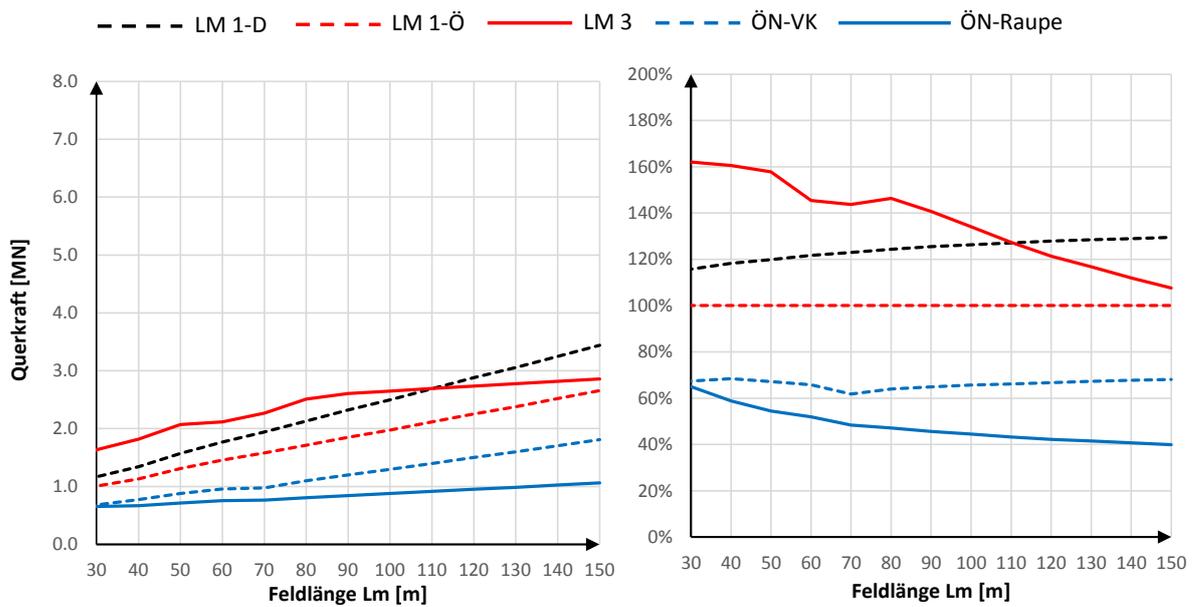


Abbildung 74 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/H=15; Q_{max} -Randaufleger

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 110 Metern Stützweite festgestellt werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö ist im Diagramm nicht ersichtlich. Es kann weiters festgehalten werden, dass die Querkraft bei großer Erhöhung der Stützweite nur wenig zunimmt.

5.2.1.3 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

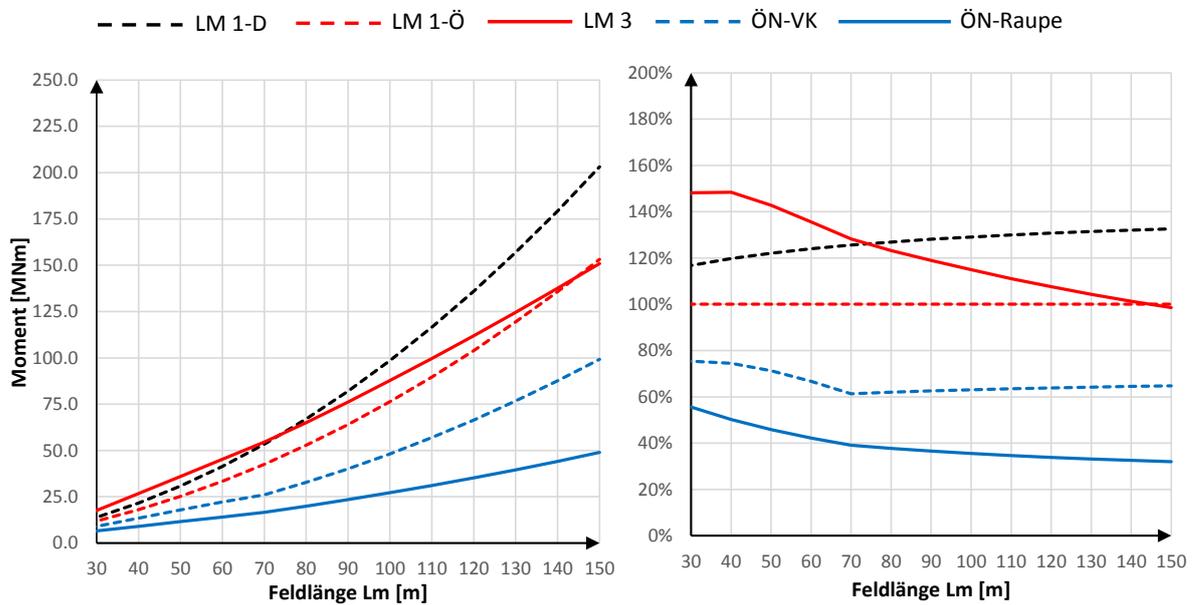


Abbildung 75 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{max} -Feldmoment

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 75 Metern Stützweite festgestellt werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö tritt bei 145 Metern Stützweite auf. Bei größeren Fahrbahnbreiten treten die Schnitte im Diagramm bereits bei kleineren Stützweiten auf. Dies hat mit der Auswirkung der Fahrbahnverbreiterung zu tun und wird ausführlich in 5.1.1.4 erläutert.

5.2.1.4 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

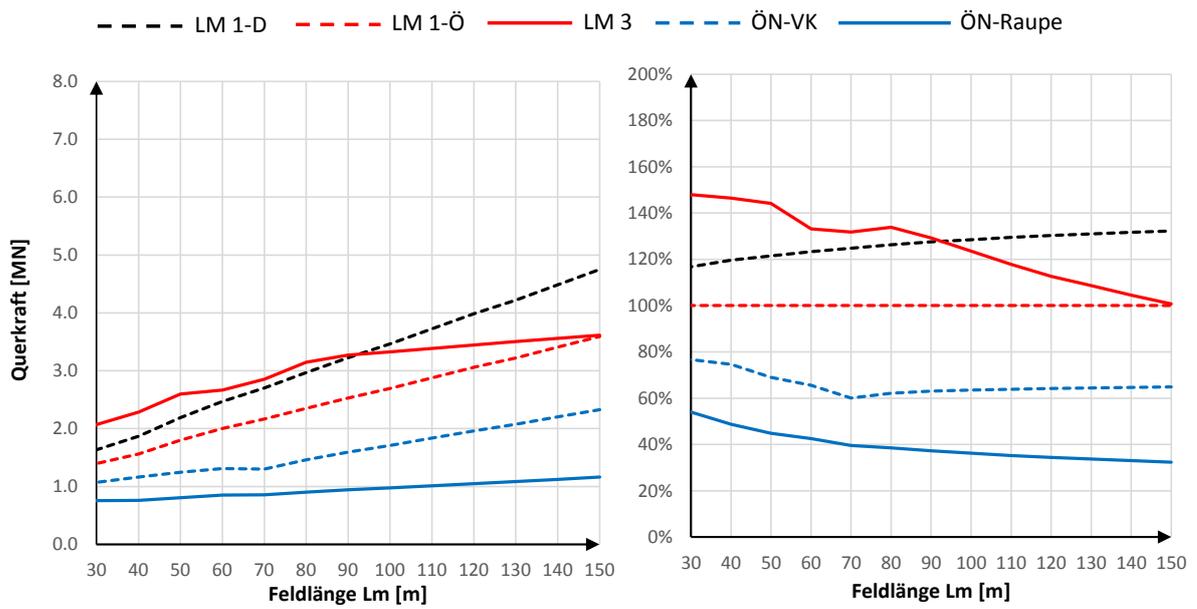


Abbildung 76 Felder=1; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; Q_{max} -Randaufleger

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 95 Metern Stützweite beobachtet werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö tritt bei einer Feldlänge von 150 Metern auf.

5.2.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE FÜR ZWEIFELDTRÄGER

Analog zu den Einfeldbrücken erfolgt die Auswertung der 2-Feldbrücken. Zusätzlich tritt nun ein Stützmoment über dem Mittelaufleger auf.

5.2.2.1 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

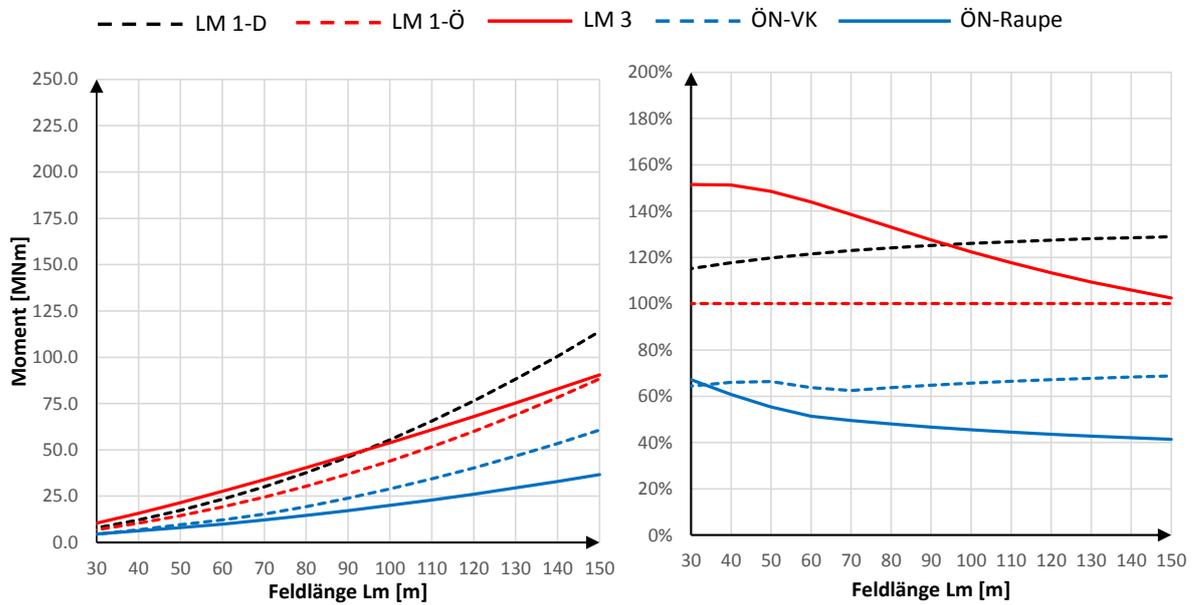


Abbildung 77 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{max} -Feldmoment

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 95 Metern Stützweite beobachtet werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö ist zufolge der untersuchten Feldlängen nicht vorhanden.

5.2.2.2 M_{MIN} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN.

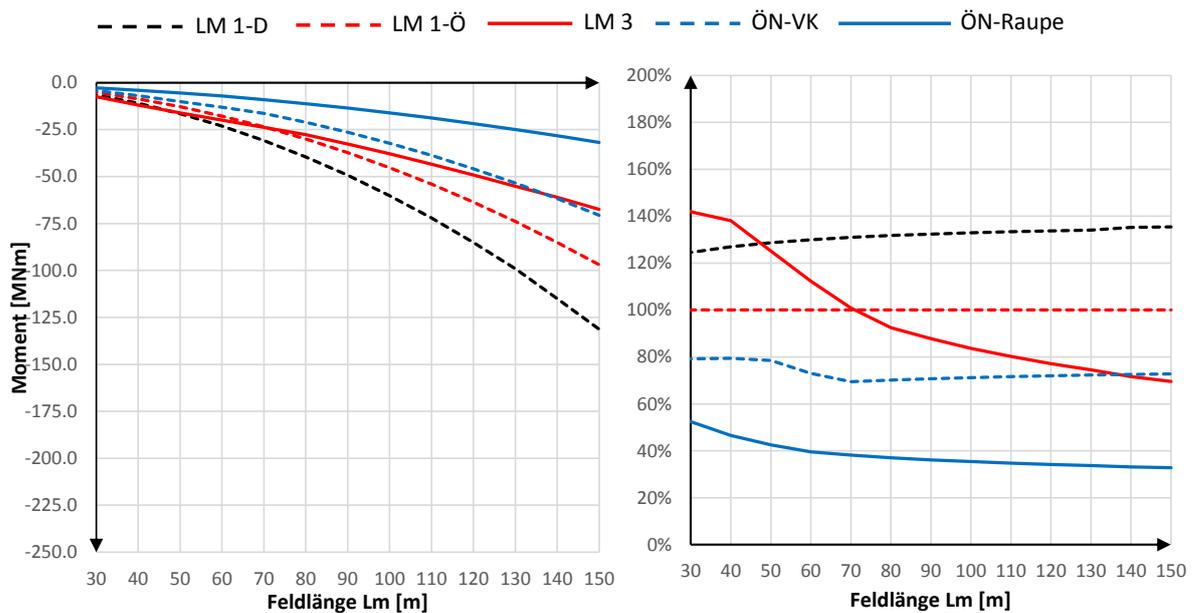


Abbildung 78 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{min} -Stützmoment

Beim auftretenden Stützmoment kann ein Schnitt des LM1-D mit dem LM3 bei 47 Metern und zwischen dem LM1-Ö und dem LM3 bei 72 Metern festgestellt werden. Aufgrund der ungünstigen Wirkung auf das Stützmoment bei voller Flächenlast auf das Tragwerk wirkt ab 137 Metern Feldlänge das Lastmodell ÖNORM B 4002-Verkehrslast ungünstiger als das LM3.

5.2.2.3 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

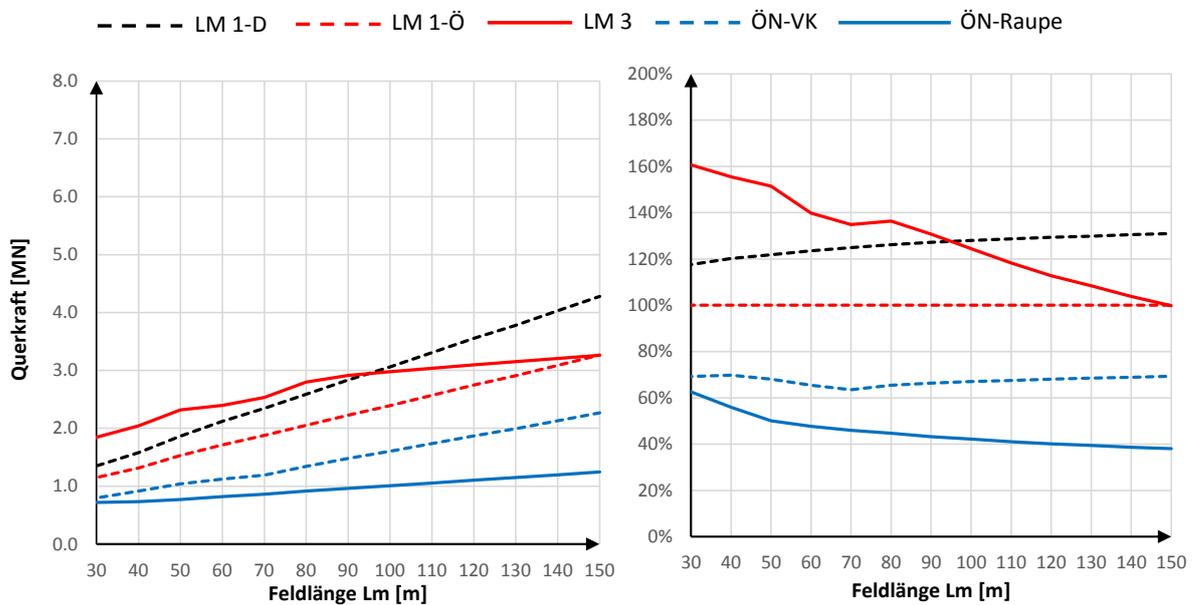


Abbildung 79 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{max} -Mittelaufleger

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 95 Metern Stützweite festgestellt werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö tritt bei 150 Metern Feldlänge auf.

5.2.2.4 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

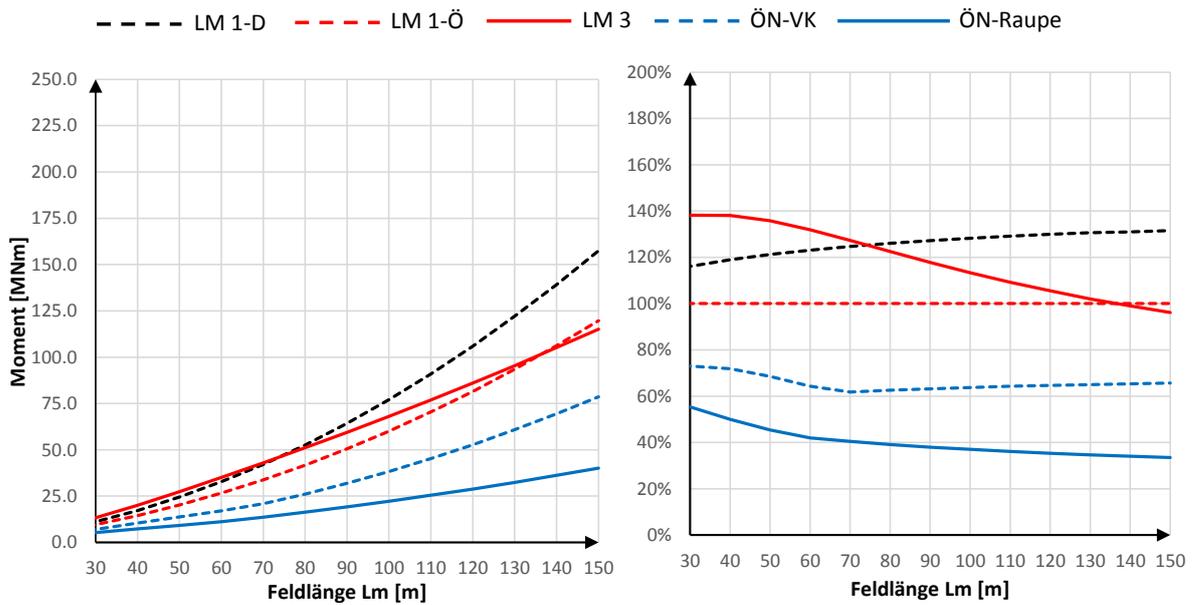


Abbildung 80 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/H=15; M_{max} -Feldmoment

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 75 Metern Stützweite festgestellt werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö kann bei 138 Metern Feldlänge beobachtet werden.

5.2.2.5 M_{MIN} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

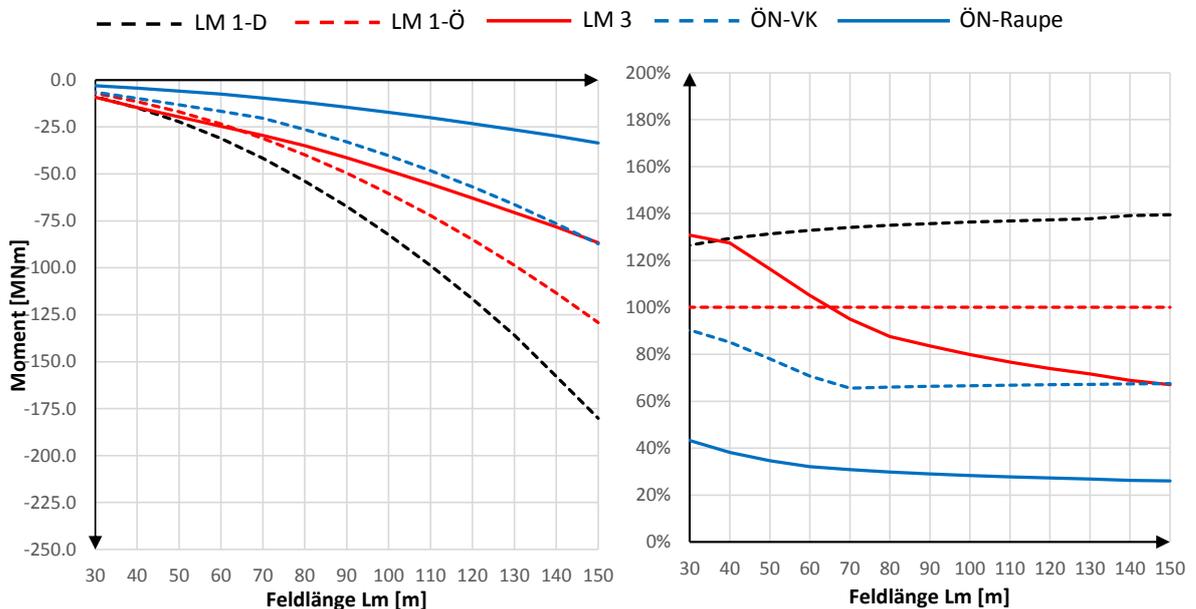


Abbildung 81 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; M_{min}

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bereits bei 38 Metern Stützweite beobachtet werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö tritt bei 65 Metern Feldlänge auf. Ab 145 Metern wirkt das Lastmodell ÖNORM B 4002-Verkehrslast ungünstiger als das LM3.

5.2.2.6 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

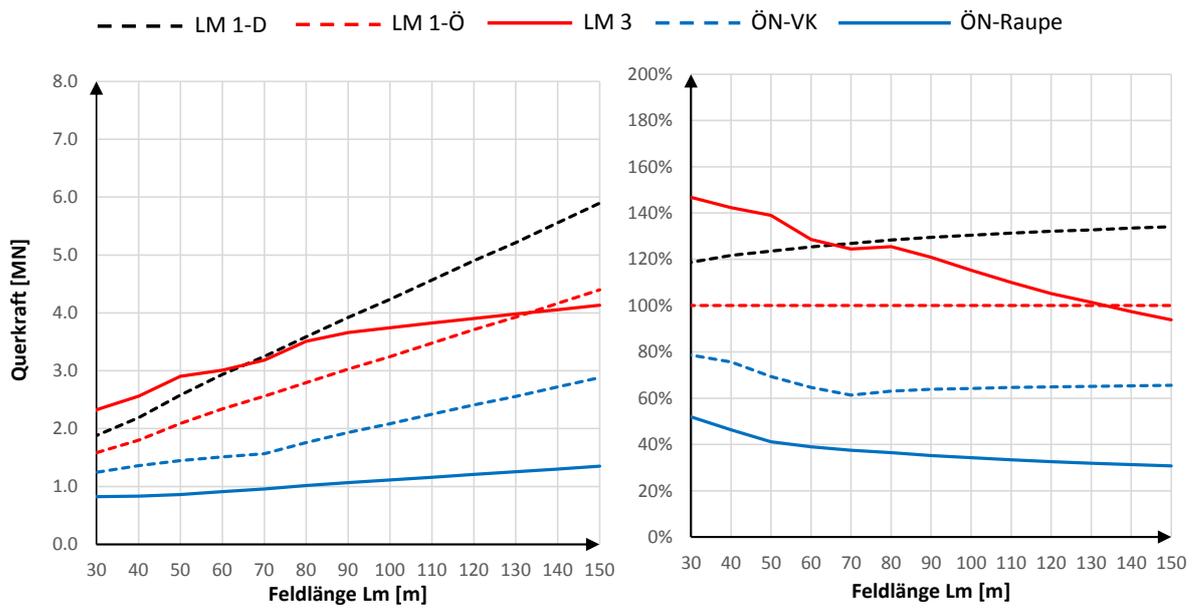


Abbildung 82 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; Q_{max} -Mittelaufleger

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 66 Metern Stützweite festgestellt werden. Ein Schnitt des LM3 mit dem LM1-Ö tritt bei 135 Metern Stützweite auf.

5.2.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE FÜR DREIFELDTRÄGER

Analog zu den bereits untersuchten Längssystemen erfolgt die Auswertung der Dreifeldbrücken.

5.2.3.1 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

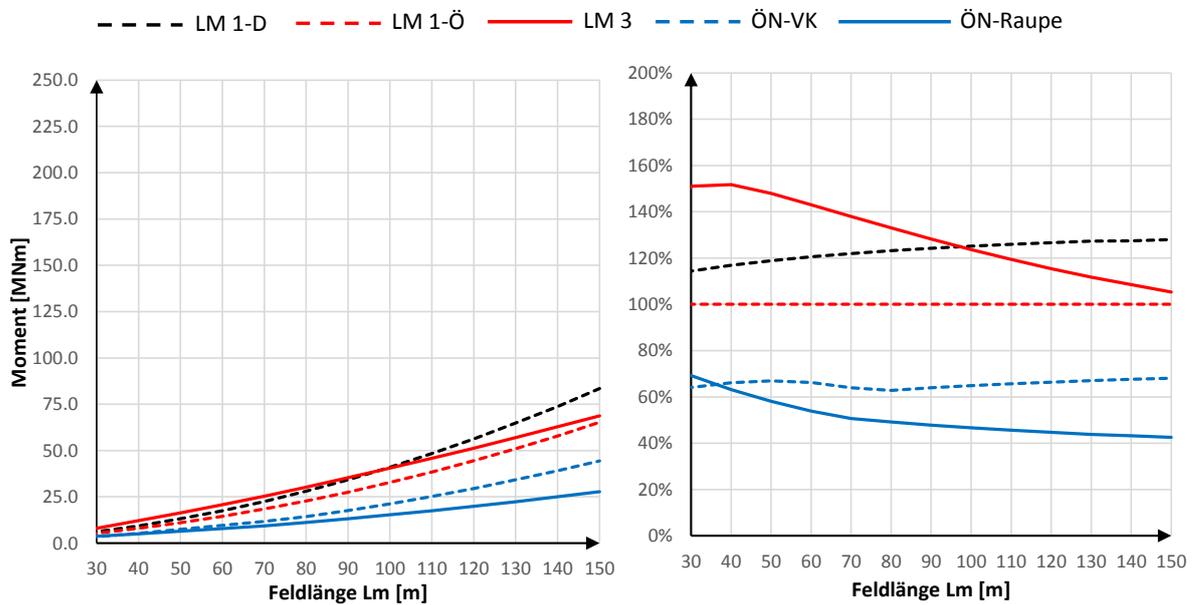


Abbildung 83 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/H=15; M_{max} -Feldmitte im Mittelfeld

Es kann bei einer Stützweite von 95 Metern ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 festgestellt werden. Zwischen dem LM1-Ö und dem LM3 erfolgt zufolge der untersuchten Stützweiten kein Schnitt im Diagramm. Die auftretenden Momente sind im Vergleich zu Ein- und Zweifeldträgern deutlich kleiner.

5.2.3.2 M_{MIN} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

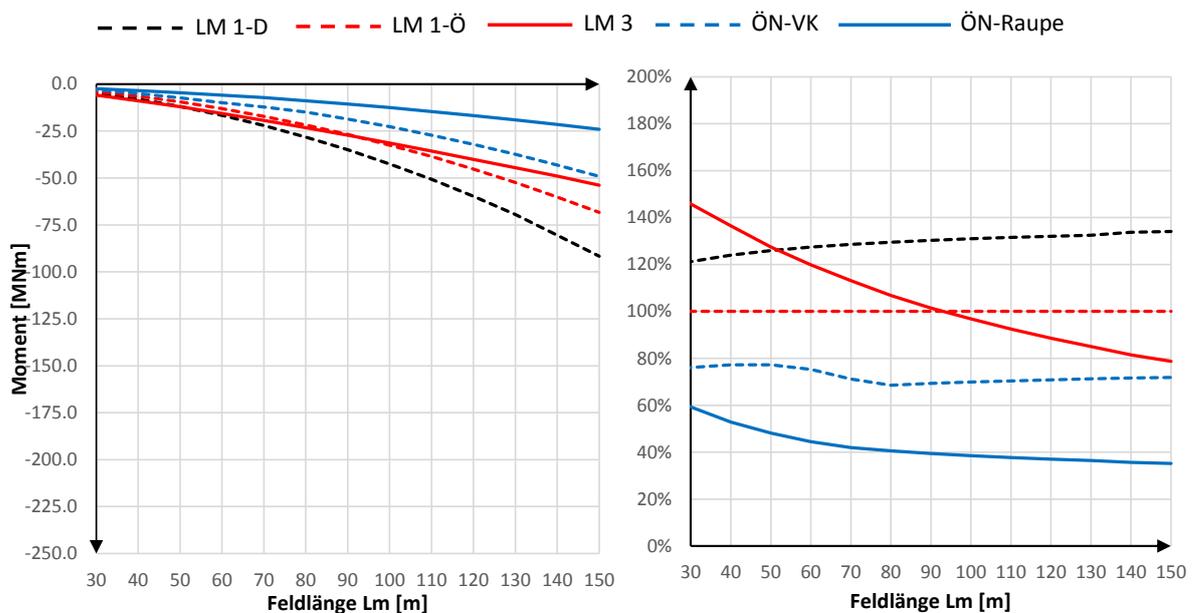


Abbildung 84 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{min} -Innenstütze

Es kann bei einer Stützweite von 50 Metern ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 festgestellt werden. Zwischen dem LM1-Ö und dem LM3 erfolgt im Diagramm ein Schnitt bei 95 Metern Stützweite.

5.2.3.3 Q_{MAX} BEI EINER BREITE VON 7.5 METERN

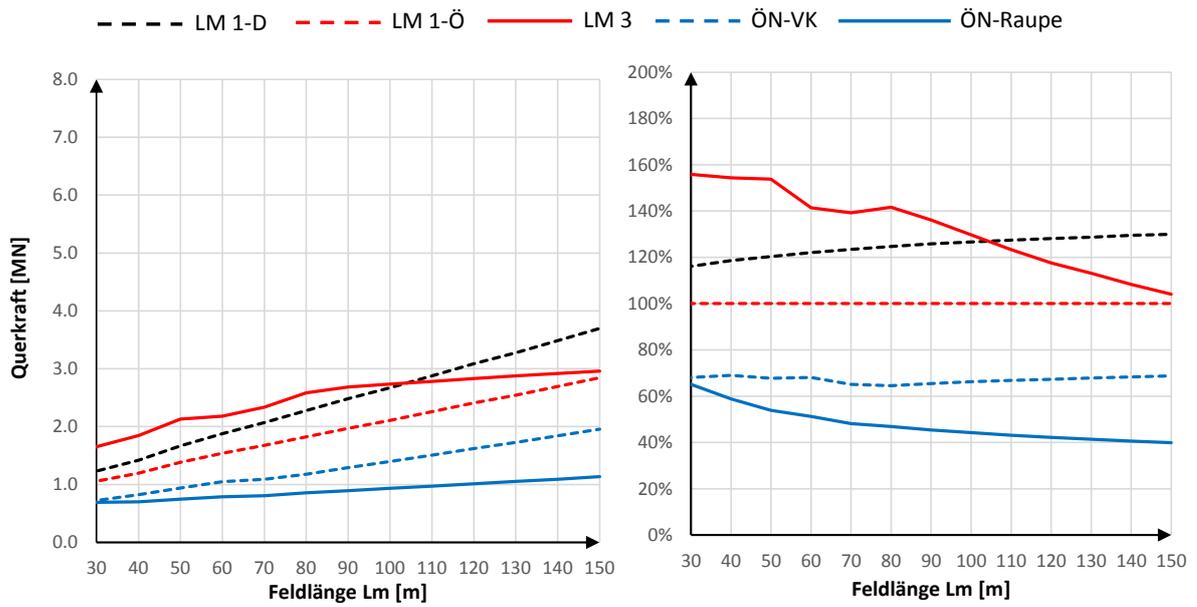


Abbildung 85 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{max} -Mittelaflager

Es kann bei 105 Metern Stützweite ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 festgestellt werden.

5.2.3.4 M_{MAX} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

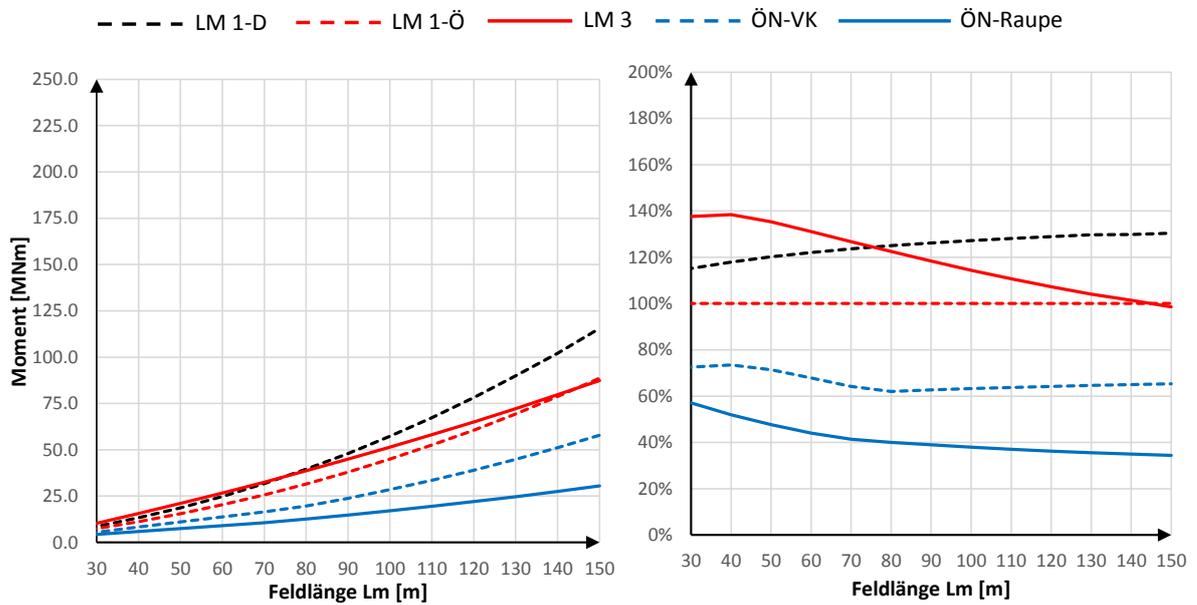


Abbildung 86 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; M_{max} -Feldmitte im Mittelfeld

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 75 Metern Stützweite festgestellt werden. Der Schnitt zwischen dem LM1-Ö und dem LM3 findet im Diagramm bei 148 Metern Feldlänge statt.

5.2.3.5 M_{\min} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

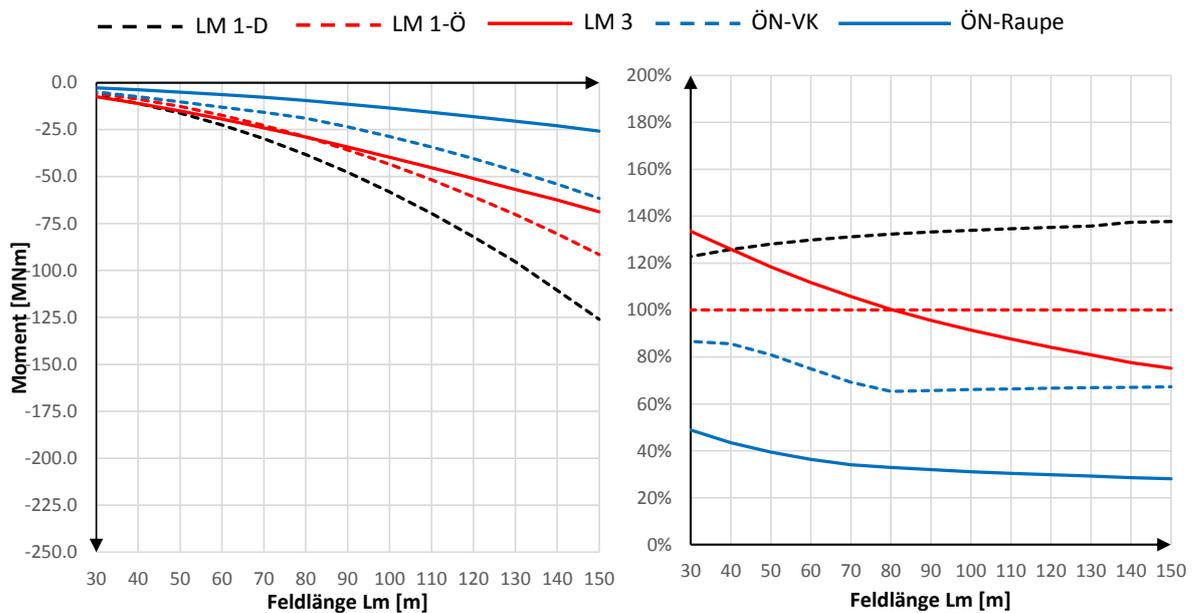


Abbildung 87 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; M_{\min} -Stützmoment

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 40 Metern Stützweite festgestellt werden. Ein Schnitt zwischen dem LM1-Ö und dem LM3 kann bei 82 Metern Feldlänge beobachtet werden.

5.2.3.6 Q_{\max} BEI EINER BREITE VON 12.5 METERN

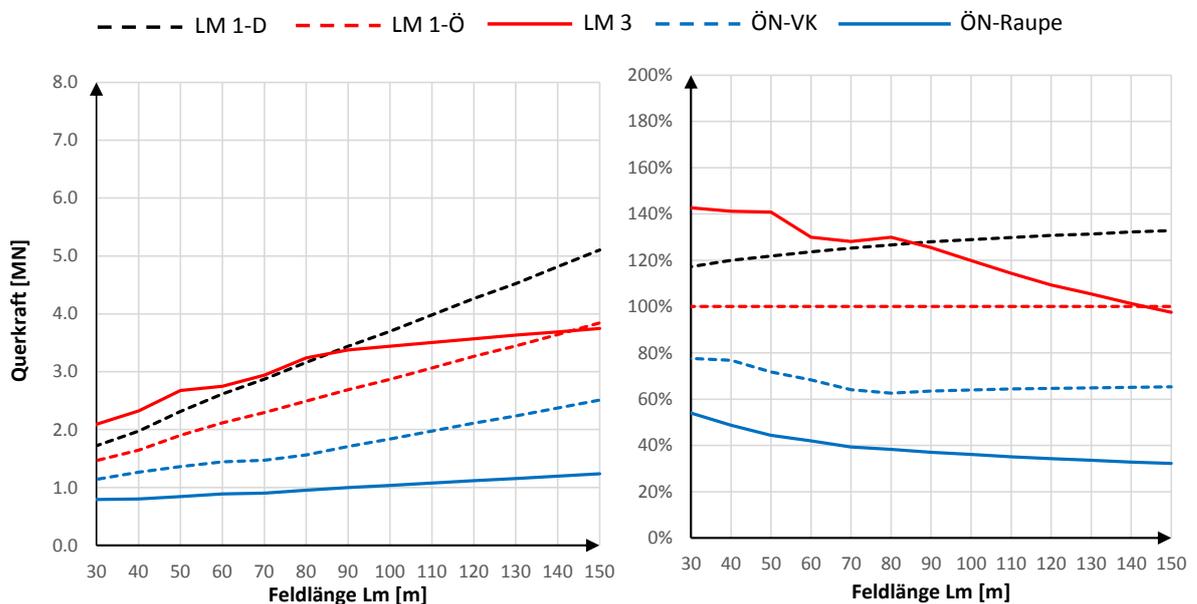


Abbildung 88 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; Q_{\max}

Es kann ein Schnitt zwischen dem LM1-D und dem LM3 bei 86 Meter Stützweite festgestellt werden. Der Schnitt zwischen dem LM1-Ö und dem LM3 findet bei 145 Metern Stützweite statt.

5.2.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERWEITERTEN ERGEBNISUNTERSUCHUNG

Im Nachfolgenden werden die aus der erweiterten Ergebnisuntersuchung in den Diagrammen beobachteten Resultate zusammengefasst.

Schnitte in den Feldmomentdiagrammen zwischen den Ergebnissen zufolge LM1 beider Anhänge und LM3

Es kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse zufolge LM1-D bei allen Feldmomentdiagrammen Schnitte mit dem LM3 aufweisen. Diese Schnitte treten bei allen Längstragwerken etwa bei der gleichen Stützweite auf. Bei Fahrbahnbreiten von 7.5 Metern treten die Schnitte bei einer Stützweite von etwa 95 Metern auf. Bei Fahrbahnbreiten von 12.5 Metern können die Schnitte bei einer Feldlänge von etwa 75 Metern beobachtet werden. Die Ergebnisse zufolge LM1-Ö weisen in den Feldmomentdiagrammen nur bei den breiteren Tragwerken mit 12.5 Metern Fahrbahnbreite Schnitte mit dem LM3 auf. Diese Schnitte erfolgen im Diagramm meist bei etwa 140 Meter Stützweite.

Schnitte in den Stützmomentdiagrammen zwischen den Ergebnissen zufolge LM1 beider Anhänge und LM3

Bei den Stützmomentdiagrammen treten bei beiden untersuchten Fahrbahnbreiten (7.5 m und 12.5 m) Schnitte zwischen den beiden Lastmodellen (LM1 und LM3) auf. Bei Fahrbahnbreiten von 12.5 Metern treten diese früher auf als bei Fahrbahnbreiten von 7.5 Metern. Das LM1-D schneidet beim schmalen Tragwerk das LM3 bereits bei etwa 50 bis 60 Metern Stützweite. Bei dem untersuchten breiteren System können die Schnitte bei etwa 40 Metern Stützweite beobachtet werden. Beim LM1-Ö variieren die Schnitte mit dem LM3 zwischen zweifeldrigen und dreifeldrigen Systemen. Beim zweifeldrigen Tragwerk finden die Schnitte bei 65 und 70 Metern statt. Beim dreifeldrigen System finden die Schnitte bei größeren Feldlängen von 80 und 90 Metern statt.

Schwache Zunahme der Querkraft im Verhältnis zur Stützweitenerhöhung

Die Querkräfte steigen in Relation zu den untersuchten Stützweiten nur wenig an. Der Grund hierfür liegt darin, dass konstante Lasten wie die Fahrzeuge der Lastmodelle die Querkraft auch bei Vergrößerung der Feldlänge nicht erhöhen. Nur die steigende Fläche, welche durch die Erhöhung der Stützweite entsteht, vergrößert die Belastung aus Flächenlasten und trägt so zum Anstieg der Querkräfte bei.

5.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE MIT WICKE

Ähnlich wie in dieser Arbeit vergleicht Wicke [12] bereits im Jahr 1994 Lastmodelle miteinander. Bei den für diese Arbeit relevanten untersuchten Lastmodellen handelt es sich laut [12, p. 14] um:

- LM1 nach der ÖNORM EN 1991-2
- Sonderfahrzeug (Raupe) nach ÖNORM B 4002

Die Verkehrslasten aus der ÖNORM B 4002 werden deshalb nicht verglichen, da in Wickes Arbeit zwei Richtungsfahrbahnen angenommen werden und in dieser Arbeit nur eine. Da die Belastung bei zwei Richtungsfahrbahnen höher ist, können diese Ergebnisse nicht verglichen werden. Weiters verwendet Wicke in seiner Arbeit beim LM3 das Sonderfahrzeug 1500/150 (siehe [12, p. 12]), wohingegen diese Arbeit das Sonderfahrzeug 3000/200 behandelt, weshalb das LM3 ebenfalls nicht verglichen werden kann. Es wird kurz erläutert, an welchen Systemen Wicke seine Untersuchungen durchführt. Es werden nur die für Plattenbalkenbrücken relevanten Informationen der Studie erläutert.

In [12] wird nur ein Längssystem unter Variation der gleichmäßigen Feldlängen untersucht. Bei dem untersuchten Längssystem handelt es sich um ein 5-feldriges Tragwerk [12, p. 9] mit einer Feldlänge von je 15, 30 oder 45 Metern [12, p. 8]. Bei dem untersuchten Querschnitt handelt es sich um einen Plattenbalkenquerschnitt mit zwei Hauptträgern und 3 verschiedenen Fahrbahnbreiten von 8, 12 oder 16 Metern [12, p. 8]. Die Studie wird unter Annahme einer querverteilenden Platte durchgeführt, bei welcher der unbelastete Hauptträger 20 % der Belastung und der belastete 80 % von jener übernimmt. In dieser Arbeit gibt es bei Querschnitten mit zwei Hauptträgern keine querverteilende Wirkung, weshalb die Ergebnisse aus Wicke am Verbundquerschnitt abgelesen werden, welcher die gleiche Querverteilung wie die Systeme in dieser Arbeit aufweist. Das Längs- und Quersystem wird in Abbildung 89 und Abbildung 90 mit der Quereinflusslinie veranschaulicht. [12, p. 7]

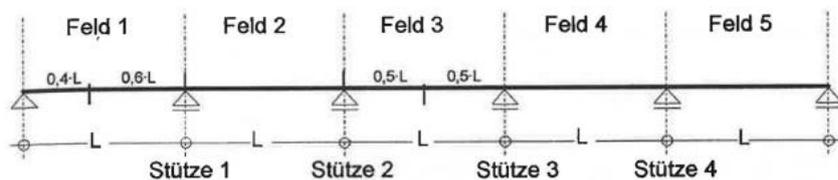


Abbildung 89 Längssystem nach Wicke [12, p. 9]

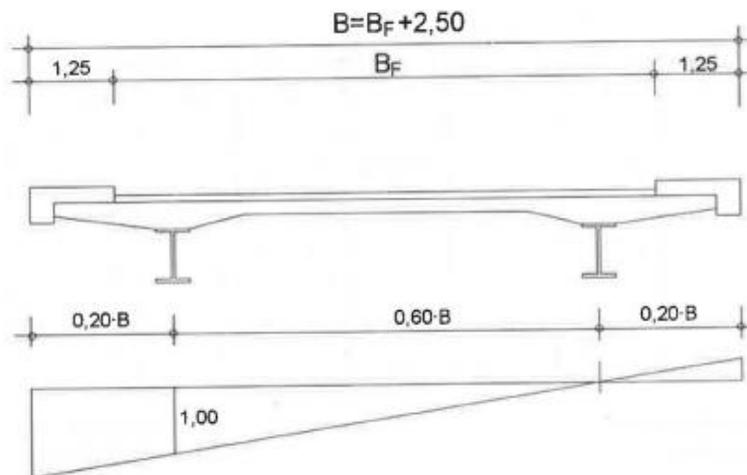


Abbildung 90 Fahrbahnquerschnitt nach Wicke mit Quereinflusslinie [12, p. 7]

Die Schnitte an denen Wicke die Momente ausgewertet sind in Abbildung 91 ersichtlich.

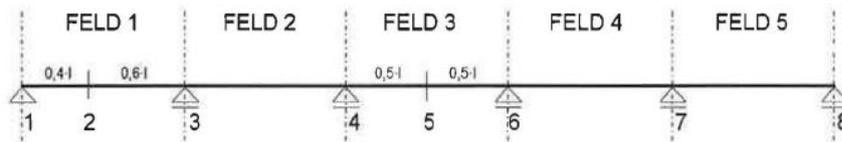


Abbildung 91 Auswertungsschnitte nach Wicke [12, p. 15]

Analog zu [12] wird ein Querschnitt mit einer Fahrbahnbreite von 8 Metern und ein 5-feldriges Längssystem mit einer Feldlänge von je 15 Metern gewählt. Verglichen werden die Feldmomente mit den selben geometrischen Systemen aus dieser Arbeit (siehe Abbildung 92). Der Vergleich erfolgt in den Schnitten 2 und 5 (siehe Abbildung 91). Die Ergebnisse werden in Tabelle 21 zusammengefasst. Der dynamische Beiwert wird bei der ÖNORM B 4002 deaktiviert, da dieser laut [12, p. 10] in der Untersuchung von Wicke ebenfalls nicht berücksichtigt wird.

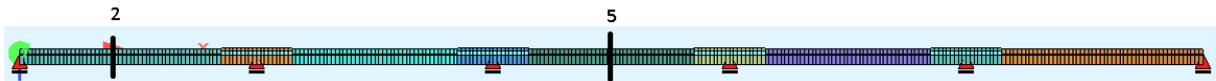


Abbildung 92 Wickes Längssystem in Sofistik abgebildet

Tabelle 21 Vergleich der Momente mit Wicke aus [12, p. 102]

| Vergleich der Momente mit Wicke | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|----------------------------|
| | | Wicke [kNm] | Sofistik- File [kNm] | Wicke/Sofistik File [%] |
| Schnitt 5 | LM1 nach ÖNORM EN 1991-2 | 2217 | 2300 | 96 |
| | ÖNORM B 4002 SFZ (Raupe) | 1502 | 1445 | 104 |
| Schnitt 2 | LM1 nach ÖNORM EN 1991-2 | 2674 | 2736 | 98 |
| | ÖNORM B 4002 SFZ (Raupe) | 1830 | 1736 | 105 |

Man erkennt, dass die Momente aus Wickes Arbeit gut mit dem Modell, welches dieser Arbeit zugrunde liegt, übereinstimmen.

VERZEICHNISSE

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abbildung 1 Golden Gate Bridge in San Francisco [1] | 1 |
| Abbildung 2 Aufbringung der Lasten [2, p. 35]..... | 4 |
| Abbildung 3 Lastausbreitung laut [2, p. 38] und geometrische Verhältnisse laut [2, p. 36] | 5 |
| Abbildung 4 Aufstandsflächen und Radanzahl im LM3 [2, p. 127]..... | 7 |
| Abbildung 5 Gemeinsames Wirken von LM1 und LM3 [2, p. 129] | 7 |
| Abbildung 6 Bestimmung der maßgebenden Längen für die dynamischen Beiwerte [7, p. 4] | 9 |
| Abbildung 7 Bestimmung des dynamischen Beiwertes in Abhängigkeit von $l\varphi$ [7, p. 4]..... | 10 |
| Abbildung 8 Lastbilder der ÖNORM B 4002 [7, p. 6] | 10 |
| Abbildung 9 Erste Stahlbetonbrücke beim Landsitz Chazelet [10, p. 6] | 12 |
| Abbildung 10 Anwendungsgrenzen in Querrichtung [8, p. 26] | 13 |
| Abbildung 11 Querschnitt zur Veranschaulichung der Wirkung der Querverteilung | 14 |
| Abbildung 12 Längssystem zur Veranschaulichung der Wirkung der Querverteilung | 14 |
| Abbildung 13 System für die Untersuchung des Tragverhaltens in Sofistik in der Untersicht | 15 |
| Abbildung 14 System zur Untersuchung des Tragverhaltens im Grundriss | 15 |
| Abbildung 15 Momentenverläufe in den Hauptträgern bei System 1 ($d_p=10\text{cm}$)..... | 16 |
| Abbildung 16 Momentenverläufe in den Hauptträgern bei System 2 ($d_p=30\text{cm}$)..... | 16 |
| Abbildung 17 Momentenverläufe in den Hauptträgern bei System 3 ($d_p=50\text{cm}$)..... | 16 |
| Abbildung 18 Momentenverläufe in den Hauptträgern..... | 17 |
| Abbildung 19 Momentenverlauf bei Queraussteifung mit $E= 33000 \text{ MPA}$ | 18 |
| Abbildung 20 Queraussteifung mit $E= \infty$ | 18 |
| Abbildung 21 System mit 2 HT ohne Queraussteifung..... | 19 |
| Abbildung 22 System mit 2 HT mit Queraussteifung..... | 20 |
| Abbildung 23 Statisches Quersystem eines Zweifeldträgers..... | 20 |
| Abbildung 24 Tabellen nach Engesser [8, p. 93]..... | 21 |
| Abbildung 25 Diagramm zum Abschätzen der Ersatzfedersteifigkeit für ein System mit den beschriebenen Querschnittswerten [4, p. 62] | 21 |
| Abbildung 26 Statisches System zur Ermittlung der Querverteilung in Ruckzuck..... | 22 |
| Abbildung 27 Auflagerarten [8, p. 146] | 23 |
| Abbildung 28 Zwängungsarme Lagerung [8, p. 151] | 23 |
| Abbildung 29 Feldlängen bei einfeldrigen Systemen | 24 |
| Abbildung 30 Feldlängen bei zweifeldrigen Systemen | 24 |
| Abbildung 31 Feldlängen bei mehr als zwei Feldern | 24 |
| Abbildung 32 Vorgangsweise bei der Berechnung der effektiven Breite von Plattenbalken [11, p. 61] | 25 |
| Abbildung 33 l_0 -Werte für Ein, Zwei und Dreifeldträger | 26 |
| Abbildung 34 Definition der Fahrbahnplatte und der Auskragungen | 26 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 35 Herangehensweise zur Erzeugung des Tragwerkmodells in Sofistik..... | 27 |
| Abbildung 36 Modell im Grundriss..... | 28 |
| Abbildung 37 Zweifeldriges Tragwerk mit 2 Hauptträger und Queraussteifungen | 29 |
| Abbildung 38 Quereinflusslinie für eine Plattenbalkenbrücke mit 2 Hauptträgern | 30 |
| Abbildung 39 Option 1 für die Anordnung von drei Fahrstreifen | 31 |
| Abbildung 40 Option 2 für die Anordnung von drei Fahrstreifen | 31 |
| Abbildung 41 Option 3 für die Anordnung von drei Fahrstreifen | 31 |
| Abbildung 42 Option 4 für die Anordnung von drei Fahrstreifen | 31 |
| Abbildung 43 Zehntelpunkte im Feld für die zentrische Positionierung der Fahrzeuge in Längsrichtung | 32 |
| Abbildung 44 Modellierter Bereich ohne Randbalken | 33 |
| Abbildung 45 Berücksichtigung der Fußgängerlasten mit Linienlasten und Linienmomenten | 33 |
| Abbildung 46 LM1 25 Meter vor dem Sonderfahrzeug | 34 |
| Abbildung 47 LM1 25 Meter hinter dem Sonderfahrzeug | 34 |
| Abbildung 48 Abhebende Last im Bereich des LKWs | 35 |
| Abbildung 49 Erzeugung von Schnitten in den Hauptträgern | 36 |
| Abbildung 50 Untersucher Querschnitt mit einer Fahrbahnbreite von 7.5 Metern | 38 |
| Abbildung 51 Untersucher Querschnitt mit einer Fahrbahnbreite von 12.5 Metern | 38 |
| Abbildung 52 Untersuchte Schnitte beim Einfeldträger..... | 39 |
| Abbildung 53 Untersuchte Schnitte bei einem Zweifeldträger | 39 |
| Abbildung 54 Untersuchte Schnitte bei einem Dreifeldträger | 40 |
| Abbildung 55 Erklärung des Diagrammes..... | 41 |
| Abbildung 56 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\max} -Feldmoment | 42 |
| Abbildung 57 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/H=15; Q_{\max} -Randauflager..... | 43 |
| Abbildung 58 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{\min} Randauflager | 44 |
| Abbildung 59 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\max} –Feldmoment | 45 |
| Abbildung 60 Felder=1; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; Q_{\max} -Randauflager | 46 |
| Abbildung 61 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\max} -Feldmoment | 47 |
| Abbildung 62 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\min} -Stützmoment | 48 |
| Abbildung 63 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{\max} -Mittelauflager | 49 |
| Abbildung 64 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/H=15; M_{\max} -Feldmoment | 50 |
| Abbildung 65 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; M_{\min} | 51 |
| Abbildung 66 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; Q_{\max} -Mittelauflager | 52 |
| Abbildung 67 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/H=15; M_{\max} - Feldmitte im Mittelfeld | 53 |
| Abbildung 68 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\min} -Innenstütze | 54 |
| Abbildung 69 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{\max} -Mittelauflager | 55 |
| Abbildung 70 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; M_{\max} -Feldmitte im Mittelfeld | 56 |
| Abbildung 71 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; M_{\min} -Stützmoment | 57 |
| Abbildung 72 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; Q_{\max} | 58 |
| Abbildung 73 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\max} -Feldmoment | 61 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 74 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/H=15; Q_{\max} -Randauflager | 62 |
| Abbildung 75 Felder=1; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\max} -Feldmoment | 62 |
| Abbildung 76 Felder=1; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; Q_{\max} -Randauflager | 63 |
| Abbildung 77 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\max} -Feldmoment | 64 |
| Abbildung 78 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\min} -Stützmoment | 65 |
| Abbildung 79 Felder=2; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{\max} -Mittelaufleger | 65 |
| Abbildung 80 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/H=15; M_{\max} -Feldmoment | 66 |
| Abbildung 81 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; M_{\min} | 66 |
| Abbildung 82 Felder=2; Träger=2; Breite=12.5m; L/ H= 15; Q_{\max} -Mittelaufleger | 67 |
| Abbildung 83 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/H=15; M_{\max} - Feldmitte im Mittelfeld | 68 |
| Abbildung 84 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; M_{\min} -Innenstütze | 68 |
| Abbildung 85 Felder=3; Träger=2; Breite=7.5m; L/ H= 15; Q_{\max} -Mittelaufleger | 69 |
| Abbildung 86 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; M_{\max} -Feldmitte im Mittelfeld | 69 |
| Abbildung 87 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; M_{\min} -Stützmoment | 70 |
| Abbildung 88 Felder=3; Träger=2; Breite=12.5 m; L/ H= 15; Q_{\max} | 70 |
| Abbildung 89 Längssystem nach Wicke [12, p. 9] | 72 |
| Abbildung 90 Fahrbahnquerschnitt nach Wicke mit Quereinflusslinie [12, p. 7] | 72 |
| Abbildung 91 Auswertungsschnitte nach Wicke [12, p. 15] | 73 |
| Abbildung 92 Wickes Längssystem in Sofistik abgebildet | 73 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Tabelle 1 Ermittlung der Fahrstreifenanzahl und-breite [2, p. 31]..... | 3 |
| Tabelle 2 Belastung der Fahrstreifen [2, p. 35] | 4 |
| Tabelle 3 Sonderfahrzeuge mit Achsabständen für das LM3 laut [2, p. 125] und [2, p. 126] | 6 |
| Tabelle 4 Lastgruppen [2, p. 41] | 8 |
| Tabelle 5 Ψ_1 Werte für die häufigen Werte des LM1 [3, p. 27]..... | 8 |
| Tabelle 6 Resultierende Flächenlasten und deren α -Werte zufolge des deutschen Anhangdokumentes [4, p. 25] | 9 |
| Tabelle 7 Plattendicken zur Untersuchung der Querverteilung | 15 |
| Tabelle 8 Unterschiede in den Momenten bei Variation der Plattendicke | 17 |
| Tabelle 9 Momente ohne Queraussteifung..... | 18 |
| Tabelle 10 Momente bei einer Queraussteifung mit normalem E-Modul | 18 |
| Tabelle 11 Momente bei Queraussteifungen mit $E = \infty$ | 19 |
| Tabelle 12 Vordefinierte Parameter..... | 26 |
| Tabelle 13 Materialübersicht | 26 |
| Tabelle 14 Festgelegte Anzahl von Optionen und Schleifendurchgängen | 31 |
| Tabelle 15 Belastungen und α -Werte nach den nationalen Anhängen | 32 |
| Tabelle 16 Überlagerungen in den einzelnen Verkehrslastmodellen..... | 37 |
| Tabelle 17 Zu untersuchende Parameter | 38 |
| Tabelle 18 Maßgebende Schnitte für die Auswertung | 39 |
| Tabelle 19 Beschreibung der Lastmodelle in den Diagrammen | 41 |
| Tabelle 20 Parameter der erweiterten Ergebnisuntersuchung | 61 |
| Tabelle 21 Vergleich der Momente mit Wicke aus [12, p. 102] | 73 |

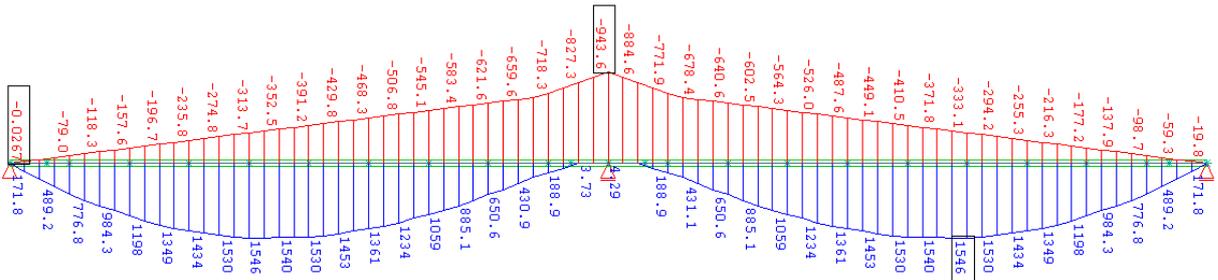
- [1] Wikipedia.[online],
https://en.wikipedia.org/wiki/Golden_Gate_Bridge#/media/File:Golden_Gate_Bridge_Dec_15_2015_by_D_Ramey_Logan.jpg, (entnommen am 18.07.2017).
- [2] ÖNORM EN 1991-2 (2012-03-01) Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 2 Verkehrslasten auf Brücken. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2012.
- [3] Unterweger Harald. Brückenbau-Grundlagen; Anhang 1 Einwirkungen auf Brücken nach Eurocode. Graz: TU-Graz Institut für Stahlbau, 2010.
- [4] Rombach Günther. Unterlagen zur Vorlesung aus Massivbrücken. Hamburg: TUHH- Institut für Massivbau, 2015.
- [5] ÖNORM B 1991-2 (2011-04-15) Eurocode 1- Einwirkungen auf Tragwerke, Verkehrslasten auf Brücken. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2011.
- [6] Anhell Thomas. Adaptierung von Bestandsbrücken in integrale Tragwerke am Beispiel einfeldriger Plattenbalken. Graz: TU-Graz, Institut für Betonbau, 2013.
- [7] ÖNORM B 4002 (1970-12-01): Straßenbrücken – Allgemeine Grundlagen – Berechnung und Ausführung der Tragwerke. Wien: Österreichisches Institut für Normung, 1970.
- [8] Unterweger Harald. Vorlesungsskriptum zu Brückenbau GL. Graz: TU-Graz, Institut für Stahlbau, 2010.
- [9] Mehlhorn Gerhard. Handbuch Brücken. Kassel: Springer, 2007.
- [10] Menn Christian und Brühwiler Eugen. Stahlbetonbrücken. Wien: Springer, 2003.
- [11] Zilch Konrad und Zehetmaier Gerhard. Bemessung im konstruktiven Betonbau. Heidelberg: Springer, 2006.
- [12] Wicke. Vergleich der Verkehrslasten nach ÖNORM B 4002, RVS 15.144 und EC 1-3. Wien: Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, 1994.

ANHANG

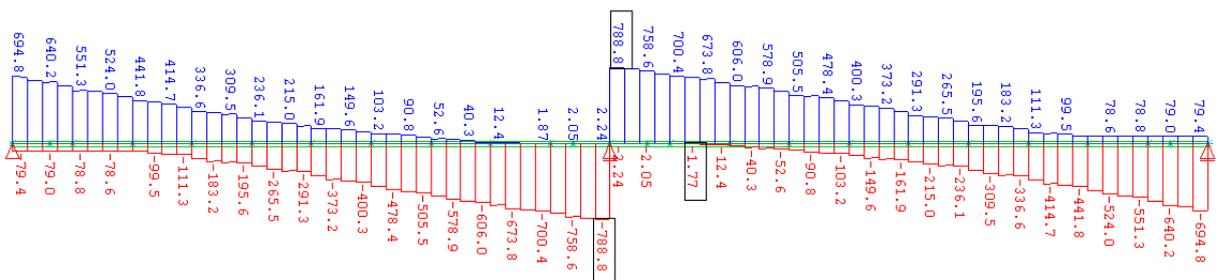
Im Anhang werden die Schnittkräfte M_{max}/M_{min} und Q_{max}/Q_{min} an 1 bestimmten Längs und Quersystem mit einer Feldlänge und einer Fahrbahnbreite veranschaulicht. Es handelt sich um ein zweifeldriges Längssystem, mit je einer Feldlänge von 10 m und einer Fahrbahnbreite von 7.5 m. Die restlichen Parameter werden aus der Tabelle 12 im Kapitel 4.2.1 übernommen.

ÖNORM EN 1991-2 LM1

M_{max}/M_{min} :

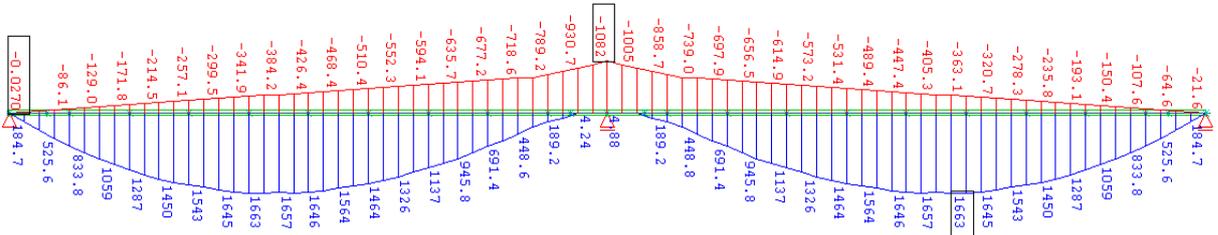


Q_{max}/Q_{min} :

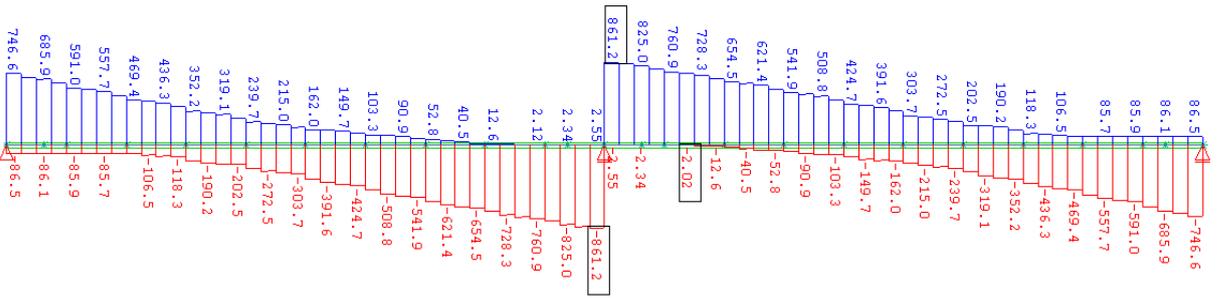


DIN EN 1991-2 LM1

M_{max}/M_{min} :

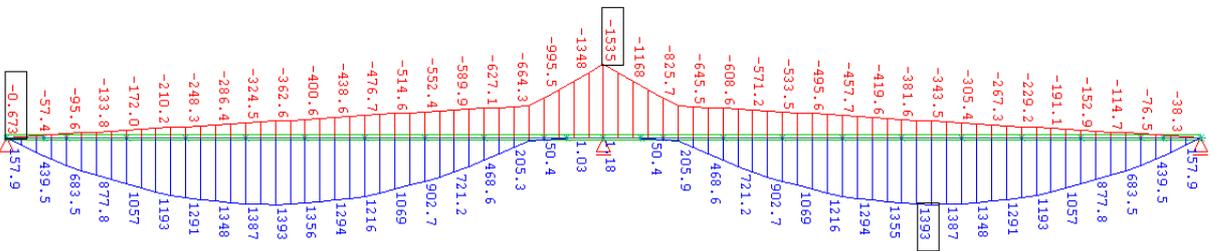


Q_{max}/Q_{min} :

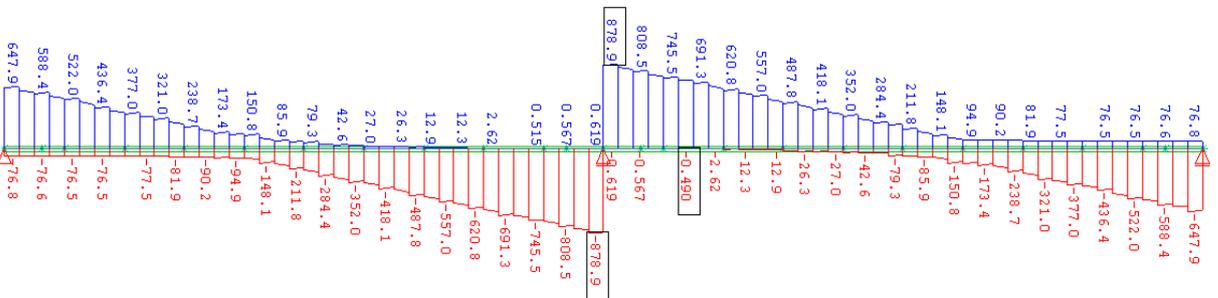


ÖNORM EN 1991-2 LM3

M_{max}/M_{min} :

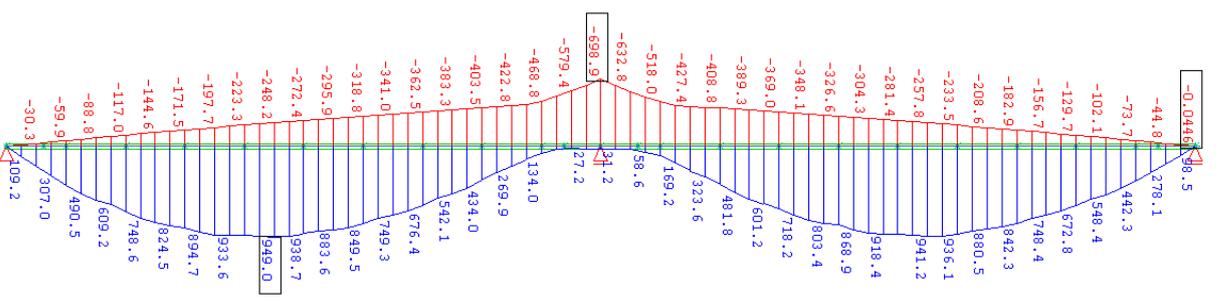


Q_{max}/Q_{min} :

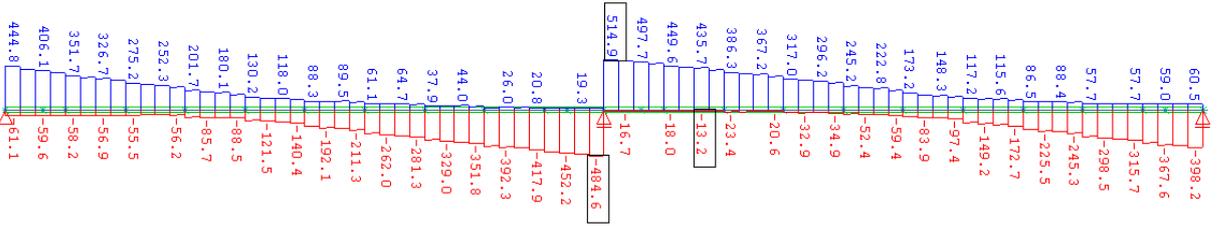


ÖNORM B 4002- Verkehrslast

M_{max}/M_{min} :

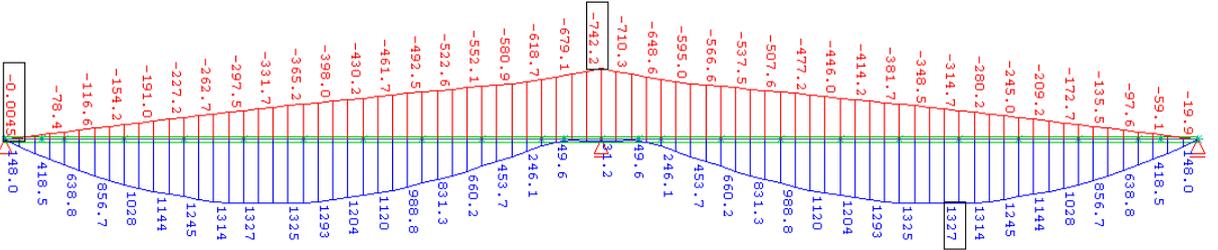


Q_{max}/Q_{min} :



ÖNORM B 4002- Sonderfahrzeug (Raupe)

M_{max}/M_{min} :



Q_{max}/Q_{min} :

