

Masterarbeit

**Statische Untersuchung mittels FE-Simulation konventioneller  
Brückenbauwerke nach Systemänderung zu integralen Tragwerken**

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. Regina della Pietra

Institut für Betonbau

eingereicht an der Technischen Universität Graz

Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

von

Stefan Oberwalder, BSc

Graz, Juni 2013

## EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

---

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

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## DANKSAGUNG

---

Mein größter Dank gilt meinen Eltern Doris und Andreas sowie meiner Schwester Sandra, die mir jederzeit bedingungsloses Vertrauen entgegenbringen und mich in jeder Hinsicht unterstützen. Ebenso bedanke ich mich bei meiner Partnerin Selena dafür, dass sie mir während meiner gesamten Studienzeit zur Seite stand und stets ein starker Rückhalt ist.

Ein herzlicher Dank geht an Regina della Pietra, die durch ihre kollegiale Betreuung über die gesamte Zeit ein ausgesprochen positives Arbeitsklima schaffte und jederzeit bereit war, meine Fragen zu beantworten und mich zu unterstützen. Auch danke ich Herrn Professor Tue für die Möglichkeit an seinem Institut tätig gewesen zu sein und seine professionellen Gedankenanstöße, welche das Projekt stets vorantrieben. Des Weiteren danke ich allen Mitarbeitern des Instituts für Betonbau, die mich herzlich aufgenommen und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen Studienkollegen Matthias und Robert, mit denen ich meine gesamte Studienzeit genießen konnte.

Ständig steigende Anforderungen an Straßenbrücken führen dazu, dass im Zuge von Sanierungsarbeiten häufig Verstärkungen des Brückentragwerks unerlässlich sind. Da Integralbrücken im Vergleich zu konventionellen Brücken aufgrund fehlender Lager und Übergangskonstruktionen geringere Lebenszykluskosten aufweisen, kommt ihnen wachsende Bedeutung zu. Sie bilden somit eine interessante Möglichkeit, Brückenbauwerke zu verstärken und an die aktuellen Anforderungen anzupassen. Die steigende Beliebtheit hat in letzter Zeit dazu geführt, dass Richtlinien und Entwurfsempfehlungen für integrale Brücken entwickelt wurden. Da sich diese jedoch ausschließlich auf Neubauten beziehen, hat diese Arbeit zum Ziel, dem Anwender erste Anhaltswerte für eine sinnvolle Ertüchtigung von Bestandsbrücken zu liefern. Weiters beleuchtet diese Arbeit im theoretischen Teil das Tragverhalten integraler Brücken hinsichtlich Zwang und Boden-Bauwerksinteraktion. Neben dem Einfluss der Brückengeometrie werden auch die Einwirkungen gemäß verschiedener Normen betrachtet.

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, dem Anwender eine Datengrundlage zu bieten, mittels welcher die Sinnhaftigkeit einer Adaptierung von konventionellen Straßenbrücken in Integralbrücken bei gegebenen Randbedingungen abgeschätzt werden kann. In einer Parameterstudie, welche mit der Finite-Elemente-Software SOFiSTiK durchgeführt wird, werden Bestandsbrücken unter den Lasten der alten (ÖNorm) und der aktuellen Norm (Eurocode), sowie die zu Integralbrücken umgebauten Tragwerke unter den aktuell gültigen Lasten betrachtet. Anhand der an den unterschiedlichen Systemen ermittelten Ergebnisse und Verhältniswerte kann mittels der Brückengeometrie und den vorhandenen Randbedingungen eine erste Aussage bezüglich der Sinnhaftigkeit einer Integralisierung getroffen werden.

## ABSTRACT

---

Due to constantly rising demands on road bridges, enhancements to the supporting structure become increasingly essential. The absence of bearings and expansion joints in integral bridges keeps their life cycle costs lower than those of conventional bridges. Therefore, integral bridges are an interesting alternative when bridges are enhanced to meet the current needs. The increase in their popularity in recent times led to a development of construction guidelines and recommendations. Since these guidelines are limited to new buildings this work is intended to provide the user with indicative values for the retrofitting process to existing bridges. Furthermore, this thesis examines the load bearing of integral bridges with regard to constraint forces and soil-structure interaction. In addition to the influence of the geometric parameters, this thesis also deals with the loads corresponding to different building codes.

The purpose of this work is to provide the user with data which enables him/her to make a statement about the sense of purpose to convert a conventional road bridge into an integral type while taking the existing boundary conditions into account. Using the finite-element-software SOFiSTiK a parameter study is conducted to compare existing bridges under the loads of past building codes (ÖNorm) and the current building codes (Eurocode). The parameter study also considers the integral bridges under current loads. The simulations presented in this thesis take into account both the existing bridge geometry and boundary conditions. The obtained results help in assessing whether to convert a conventional bridge into an integral one.

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TRAGVERHALTEN VON INTEGRALEN BRÜCKEN</b> .....	<b>3</b>
2.1	ZWANGSBEANSPRUCHUNG.....	3
2.1.1	<i>Temperatur</i> .....	3
2.1.2	<i>Kriechen, Schwinden und Relaxation</i> .....	4
2.1.3	<i>Vorspannung</i> .....	5
2.1.4	<i>Überlagerung der Zwangsschnittgrößen</i> .....	5
2.1.5	<i>Abbau/Reduktion von Zwangsschnittgrößen</i> .....	6
2.2	BODEN-BAUWERKSINTERAKTION.....	7
2.2.1	<i>Erddruck – theoretische Grundlagen</i> .....	7
2.2.2	<i>Erddruck bei zyklischer Beanspruchung</i> .....	8
2.2.3	<i>Erddruck bei monotoner Beanspruchung</i> .....	8
2.2.4	<i>Reibungskräfte</i> .....	8
2.3	EINFLUSS DER BRÜCKENGEOMETRIE.....	9
2.3.1	<i>Krümmung in Grund- und Aufriss</i> .....	9
2.3.2	<i>Kreuzungswinkel</i> .....	9
2.3.3	<i>Längsneigung</i> .....	10
2.3.4	<i>Gründungsverhältnisse</i> .....	10
2.3.5	<i>Widerlager</i> .....	10
2.3.6	<i>Stützen</i> .....	11
<b>3</b>	<b>ERMITTLUNG DER EINWIRKUNGEN IM NORMATIVEN VERGLEICH</b> .....	<b>12</b>
3.1	STÄNDIGE EINWIRKUNGEN.....	12
3.1.1	<i>ÖNorm EN 1991-1-1 (2011-09-01) bzw. ÖNorm B 1991-1-1 (2011-12-01)</i> .....	12
3.1.2	<i>ÖNorm B 4002 (1970-12-01)</i> .....	12
3.2	EINWIRKUNGEN AUS STRAßENVERKEHR.....	13
3.2.1	<i>ÖNorm EN 1991-2 (2012-03-01) bzw. ÖNorm B 1991-2 (2011-04-15)</i> .....	13
3.2.2	<i>ÖNorm B 4002 (1970-12-01)</i> .....	17
3.3	TEMPERATURLASTEN.....	19
3.3.1	<i>ÖNorm EN 1991-1-5 (2012-01-01) bzw. ÖNorm B 1991-1-5 (2012-01-01)</i> .....	19
3.3.2	<i>ÖNorm B 4200 Teil 4 (1984-08-01)</i> .....	20

3.4	ERDRUCKVERTEILUNG .....	21
3.4.1	<i>ASTRA 12 004 (2001) bzw. UK Highways Agency Design Manual for Roads and Bridges (2003)</i> .....	21
3.4.2	<i>DIN 4085 (2011-05-01)</i> .....	22
3.4.3	<i>ZTV-ING Teil 5: Tunnelbau, Abschnitt 2: Offene Bauweise (2012-03-01)</i> .....	25
3.4.4	<i>RVS 15.02.12 (derzeit in Bearbeitung)</i> .....	25
3.4.5	<i>Weitere Erddruckansätze</i> .....	25
3.5	AÜBERGEWÖHNLICHE EINWIRKUNGEN .....	25
3.5.1	<i>ÖNorm EN 1991-1-7 (2007-04-01) bzw. ÖNorm B 1991-1-7 (2007-04-01)</i> .....	25
3.5.2	<i>ÖNorm B 4002 (1970-12-01)</i> .....	26
3.6	WINDLASTEN .....	26
3.7	SCHNEELASTEN .....	26
3.8	SONSTIGE EINWIRKUNGEN .....	27
<b>4</b>	<b>MODELLIERUNG DES SYSTEMS</b> .....	<b>29</b>
4.1	UNTERSCHIEDUNG DER GRUNDSYSTEME .....	30
4.2	ÜBERGANG ZWISCHEN FAHRBAHN UND WIDERLAGERWAND .....	32
4.2.1	<i>Kopplungen</i> .....	34
4.3	ABBILDUNG AUFBETON .....	35
4.4	MODELLIERUNG BODEN .....	36
<b>5</b>	<b>BELASTUNGSANNAHMEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN</b> .....	<b>38</b>
5.1	ZUSAMMENSTELLUNG DER LASTEN (LASTFALLNUMMERN) .....	38
5.1.1	<i>Lastfälle für Systeme laut ÖNorm</i> .....	38
5.1.2	<i>Lastfälle für Systeme laut Eurocode</i> .....	39
5.2	STÄNDIGE LASTEN .....	40
5.3	TEMPERATURLASTEN .....	42
5.3.1	<i>Nach ÖNorm EN 1991-1-5 (2012-01-01) bzw. ÖNorm B 1991-1-5 (2012-01-01)</i> .....	42
5.3.2	<i>Nach ÖNorm B 4200 Teil 4 (1984-08-01)</i> .....	43
5.4	ERDRUCK.....	43
5.4.1	<i>Bestandstragwerke</i> .....	43
5.4.2	<i>Integralisierte Systeme</i> .....	45
5.5	VERKEHRLASTEN.....	46
5.5.1	<i>Nach ÖNorm EN 1991-2 (2012-03-01) bzw. ÖNorm B 1991-2 (2011-04-15)</i> .....	46

5.5.2	<i>Nach ÖNorm B 4002 (1970-12-01)</i> .....	48
5.6	LASTFALLKOMBINATIONEN .....	50
5.6.1	<i>Nach ÖNorm EN 1990 (2003-03-01) bzw. ÖNorm EN 1990:2002/A1:2005</i> .....	51
5.6.2	<i>ÖNorm</i> .....	53
5.7	AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE, SCHNITTE.....	54
<b>6</b>	<b>STATISCHE UNTERSUCHUNGEN MITTELS FE-SIMULATION.....</b>	<b>56</b>
6.1	ALLGEMEINES.....	56
6.2	ERGEBNISSE DER BERECHNUNG .....	57
6.2.1	<i>Auswertung der Ergebnisse</i> .....	58
6.3	DISKUSSION DER ERGEBNISSE .....	61
6.3.1	<i>Vergleich Überbau am Bestandssystem</i> .....	61
6.3.2	<i>Vergleich Unterbau am Bestandssystem</i> .....	62
6.3.3	<i>Vergleich Moment mit Normalkraft im Überbau am integralen System</i> .....	64
6.3.4	<i>Vergleich Moment mit Normalkraft im Unterbau am integralen System</i> .....	64
6.3.5	<i>Vergleich Querkraft im Über- und im Unterbau am integralen System</i> .....	65
6.3.6	<i>Vergleich Überbau am Bestandssystem und am integralen System</i> .....	69
6.3.7	<i>Vergleich Unterbau am Bestandssystem und am integralen System</i> .....	70
<b>7</b>	<b>CONCLUSIO .....</b>	<b>71</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>72</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>74</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>75</b>
	<b>ANHANG.....</b>	<b>79</b>

# 1 EINLEITUNG

---

Integrale Brücken verzeichnen international eine deutliche Zunahme an Beliebtheit, da sie im Vergleich zu konventionellen Brückenbauwerken geringere Lebenszykluskosten aufweisen. Dies resultiert aus der Tatsache, dass sich Integralbrücken in Bezug auf Konstruktion und Unterhaltung aufgrund der fehlenden Lager und Fahrbahnübergänge kostengünstiger verhalten. Aus der monolithischen Verbindung zwischen Überbau und Widerlager ergeben sich neben dem Aspekt der geringeren Kosten auch Vorteile aus statischer Sicht, da das Rahmensystem für Tragreserven sorgt. Weiters wird auch aufgrund der fehlenden Übergangskonstruktion ein höherer Fahrkomfort und eine geringere Lärmentwicklung gewährleistet. Diese Vorteile haben international dafür gesorgt, dass die integrale Bauweise bei Brücken erforscht und in Form von Richtlinien verankert wurde, welche sich jedoch meist auf Neubauten beziehen.

Betrachtet man die aktuellen Brückenbestände, deren Zustand und die stetig steigenden Verkehrslasten, so wird deutlich, dass der Sanierung sowie der Verstärkung der Bestandstragwerke in Zukunft eine große Bedeutung zukommen wird. Die Umwandlung einer bestehenden Brücke in ein integralisiertes Rahmensystem verändert das statische Verhalten, welches deutlich von Parametern wie der Brückengeometrie, den Baugrundverhältnissen, etc. abhängig ist. Im Zuge der Adaptierung können durch die Änderung in der Tragweise Verstärkungen am Bauwerk an verschiedenen Stellen notwendig werden.



ABBILDUNG 1: BEISPIEL EINER INTEGRAL AUSGEFÜHRTEN BRÜCKE (SUNNIBERGBRÜCKE) [1]

Ziel dieser Arbeit ist es, das Ausmaß der nötigen Verstärkungen abzuschätzen und somit eine Aussage über die Sinnhaftigkeit einer Adaptierung treffen zu können. Im Zuge einer Parameterstudie, welche mit dem Programm SOFiSTiK durchgeführt wird, werden einfeldrige Plattentragwerke mit unterschiedlichen Abmessungen und Randbedingungen betrachtet. Dabei werden die bei der Planung gültigen Normen (ÖNorm) und die aktuellen Normen (Eurocode) berücksichtigt.

Die Arbeit gliedert sich in einen allgemeinen Abschnitt zum Thema integrale Brücken und in einen praktischen Teil, der die durchgeführten Berechnungen dokumentiert. Zu Beginn wird das Tragverhalten von Integralbrücken einer näheren Betrachtung unterzogen. Im Speziellen wird auf die Besonderheiten, welche durch die Rahmenwirkung entstehen, eingegangen. Diese umfassen Zwangsbeanspruchungen aus Temperaturlasten, Vorspannung und den viskosen Betoneigenschaften und die Interaktion zwischen Boden und Bauwerk. Zusätzlich dazu wird der Einfluss der Brückengeometrie auf das Tragverhalten beschrieben. Im nächsten Schritt wird ein Überblick über die in den Normen verankerten Einwirkungen auf Brückentragwerke geboten. Folglich wird die Modellierung der in der Parameterstudie verwendeten Systeme behandelt. Im Zuge dessen wird einerseits auf das Bestandstragwerk unter den bei der Planung gültigen Lasten gemäß ÖNorm B 4002 (1970) und andererseits unter den aktuellen Lasten laut Eurocode ÖNorm EN 1991-2 bzw. ÖNorm B 1991-2 eingegangen. Zusätzlich dazu wird die integralisierte Brücke unter Berücksichtigung der Bauzustände mit den Eurocode-Lasten beaufschlagt. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen lassen sich Verhältniswerte zwischen Bestandstragwerk und Neubau ermitteln, über welche abgeschätzt werden kann, ob bei gegebener Geometrie und Randbedingungen ein Umbau in ein integrales System aus statischer und wirtschaftlicher Sicht als sinnvoll zu erachten ist. Anhand eines Beispiels werden weiters die Ergebnisse auszugsweise präsentiert und beschrieben.

## 2 TRAGVERHALTEN VON INTEGRALEN BRÜCKEN

---

Da Fahrbahnübergänge und Lager, wie sie im konventionellen Brückenbau vorkommen, einen verhältnismäßig großen Unterhaltsaufwand verursachen, erscheint es als zweckmäßig, auf diese Elemente zu verzichten. Integrale Brücken weisen eine vollständig monolithische Verbindung zwischen Ober- und Unterbau auf. Dieses Merkmal hat einen erheblichen Einfluss auf das Tragverhalten des Bauwerks. Dieses Tragverhalten ist im Gegensatz zu dem konventioneller Brückenbauwerke um einiges komplexer, da es sich um ein statisch unbestimmtes System handelt. Es ist eine genaue Betrachtung des Gesamtsystems notwendig und es ist unerlässlich, die vorhandenen Steifigkeiten genau abzubilden. [2 S. 1 ff.]

### 2.1 ZWANGSBEANSPRUCHUNG

---

Der Einfluss von Zwangsschnittgrößen, speziell im Grenzzustand der Tragfähigkeit, ist für konventionelle Brücken von untergeordneter Bedeutung. Dies resultiert aus der Tatsache, dass diese Tragwerke über ein ausreichendes Verformungsvermögen verfügen, welches einen Abbau der Zwangsschnittgrößen ermöglicht. [3 S. 119] Integrale Brückenbauwerke verhalten sich in dieser Hinsicht jedoch anders. Bei deren Bemessung müssen die Zwangsnormalkräfte in die Berechnung miteinbezogen werden. Ihr Verformungsvermögen ist nicht groß genug, um die Zwangsschnittgrößen ausreichend abzubauen. [2 S. 25] Als Beispiele für Zwangsbeanspruchungen können Temperatureinwirkungen, Einwirkungen aus Kriechen, Schwinden, Relaxation und Vorspannungen genannt werden. Auf deren Einfluss wird im Folgenden eingegangen. [2 S. 1 ff.] Konkrete Richtlinien und ausreichende Erfahrung zur Berücksichtigung der Zwangsnormalkräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind im Moment jedoch noch nicht normativ festgehalten. [3 S. 119]

#### 2.1.1 TEMPERATUR

---

Temperatureinwirkungen entstehen aus der sich ständig ändernden Temperaturganglinie. Wie sich die Temperatur über den Querschnitt verteilt, ist von einer Vielzahl an Faktoren abhängig. Als Beispiele können die Strahlungsintensität der Sonne, der Einstrahlungswinkel, die Querschnittsgeometrie, die Farbe des Tragwerks, die Art des Brückenbelages und dessen Eigenschaften etc. genannt werden. Obwohl Temperaturspitzen durch einen hellen Anstrich des Tragwerks oder mittels Wärmedämmung abgemindert werden können, findet eine aktive Regulierung der Temperatureinflüsse in größerem Ausmaß aus wirtschaftlichen Gründen in der Praxis keine Anwendung.

Es erweist sich als zweckmäßig und ausreichend, die komplexe Temperaturverteilung in Bauteilquerschnitten vereinfacht als Kombination aus einer konstanten und einer linearen

Verteilung im Rechenmodell abzubilden. Die konstante Temperaturänderung ruft bei Behinderung einen zentrischen Zwang und somit Normalkräfte hervor. Ist eine freie Verformung möglich, kommt es zu einer unbehinderten Längenänderung. Eine behinderte lineare Temperaturänderung ruft Momente hervor, während es im unbehinderten Zustand zu Krümmungen kommt. [4 S. 10 f.]

Eine Behinderung der Überbauverformungen durch Zwang stellt sich bei integralen Brücken mit üblichen Abmessungen nur in geringem Maße ein. Die auftretenden Verschiebungen und Verdrehungen wirken auf den angrenzenden Baugrund. Da es sich bei der Temperatureinwirkung um eine zyklische Einwirkung handelt, kommt es im Tragwerk zu sogenannten Pumpbewegungen (siehe auch Abbildung 3). [3 S. 104]

Die aus Hydratationswärme entstehende Verformung ist als weitere temperaturbedingte Einwirkung zu nennen und ist besonders bei massiven Bauteilen von Bedeutung. [3 S. 104]

### 2.1.2 KRIECHEN, SCHWINDEN UND RELAXATION

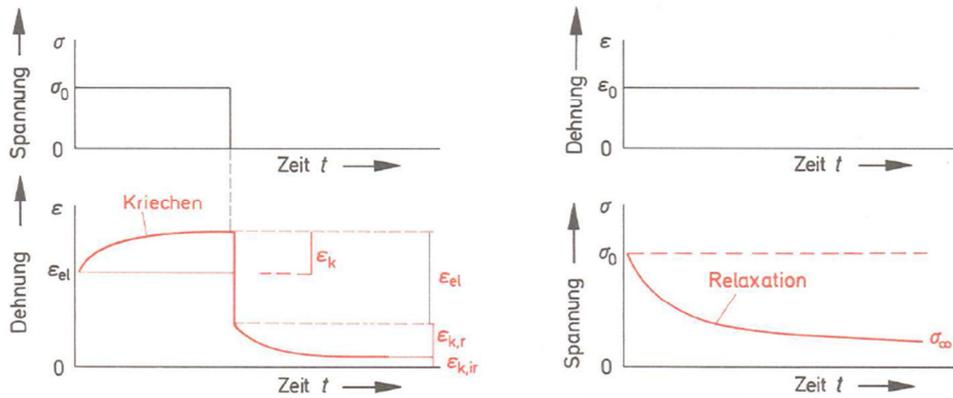
---

Durch die viskosen Eigenschaften von Beton, welche hauptsächlich durch die Zementmatrix geprägt sind, entsteht ein stark zeitabhängiges Verformungsverhalten. Dieses lässt sich zur einfacheren Betrachtung in Kriechen, Schwinden und Relaxation unterteilen. Die folgenden Parameter haben, neben der Zementmatrix, maßgebenden Einfluss auf Kriechen und Schwinden: Bauteilabmessungen (Oberfläche, Bauteilstärke), relative Luftfeuchtigkeit, Betonalter bei Belastung, Temperatur und Belastungsniveau. [2 S. 9]

Bei monolithisch ausgeführten Bauwerken ruft Schwinden größtenteils zentrische Zwangsbeanspruchungen hervor. Die entstehenden Schwindverkürzungen werden durch die Bewehrung behindert, was zu Druckspannungen im Bewehrungsstahl und zu Zugspannungen im Beton führt. Dies kann in weiterer Folge zu einer Vergrößerung der Rissbreiten beitragen. [4 S. 11]

Unter Kriechen versteht man die über die Zeit ansteigende Stauchung des Betons unter Druckbeanspruchung. So sorgt beispielsweise eine vorhandene Vorspannung für mit der Zeit zunehmende Stauchungen im Überbau. Der Begriff Relaxation bezeichnet den zeitabhängigen Abbau der Spannungen bei vorhandener Dehnung. [5 S. II-19]

Für die auftretenden Temperaturschwankungen ist der Effekt der Relaxation von Bedeutung. Die durch Erwärmung entstehenden Druckspannungen können durch Relaxation teilweise abgebaut werden und auch die durch Abkühlung auftretenden Zugspannungen werden abgemindert und erreichen somit möglicherweise nicht die Rissspannung. Zu bemerken ist, dass der Effekt der Relaxation mit zunehmendem Betonalter abnimmt. Da Schwinden im jungen Betonalter auftritt, ist hier der Einfluss der Relaxation größer als es beispielsweise für Temperaturschwankungen im späten Alter der Fall ist. [4 S. 89] Abbildung 2 zeigt den Unterschied zwischen Kriechen und Relaxation.



ABILDUNG 2: ZEITABHÄNGIGER VERLAUF VON SPANNUNGEN UND DEHNUNGEN BEI KRIECHEN UND RELAXATION [5 S. I-20]

### 2.1.3 VORSPANNUNG

Eine eventuell vorhandene Vorspannung (in Längsrichtung) führt dazu, dass das Bauwerk eine Stauchung erfährt. Das Ausmaß dieser Tragwerksverkürzung lässt sich sehr gut abschätzen, da sie hauptsächlich von der Steifigkeit des Überbaus abhängig ist. [2 S. 9] Bei integralen Brücken ist jedoch zu beachten, dass nicht die gesamte Vorspannkraft im Überbau wirkt, sondern teilweise direkt über den Unterbau in den Boden abgetragen wird. [6 S. 297]

### 2.1.4 ÜBERLAGERUNG DER ZWANGSSCHNITTGRÖßEN

Die behinderten Überbauverformungen setzen sich, wie bereits angesprochen, aus einem zyklisch wirkenden Temperaturanteil (Pumpbewegung), den Langzeitverformungen des Betons und einer möglichen Vorspannung zusammen. [3 S. 105] Kaufmann [2 S. 11 f.] stellt in seinem Sachstandsbericht den Einfluss des Betonalters bei Fugenschluss auf Überbauverkürzungen dar (siehe Tabelle 1). Dabei werden typische Werte für vorgespannte Betonbrücken betrachtet. Für die Temperatur beim Betonieren werden 20 [°C] und bei Fugenschluss 10 [°C] angesetzt.

TABELLE 1: WIRKSAME ÜBERBAUVERKÜRZUNGEN - EINFLUSS DES UNTERSCHIEDLICHEN BETONALTERS BEIM FUGENSCHLUSS (IN ‰) [2 S. 12]

Ursache		Zwängungsfreie Verkürzung während ... Tagen zugelassen (Betonalter bei Fugenschluss)			
		0 d	60 d	180 d	365 d
Temperatur (10°C ± 20°C)	[10 <sup>-6</sup> ]	-300 <sup>(1)</sup>	-200 <sup>(1)</sup>	-200 <sup>(1)</sup>	-200 <sup>(1)</sup>
Hydratationswärme	[10 <sup>-6</sup> ]	-100	0	0	0
Vorspannung (elast. Anteil)	[10 <sup>-6</sup> ]	-150	0	0	0
Kriechen	[10 <sup>-6</sup> ]	-280	-195	-125	-105
Schwinden	[10 <sup>-6</sup> ]	-200	-160	-105	-70
Total	[10 <sup>-6</sup> ]	-1030	-555	-430	-375

Es zeigt sich, dass die auftretenden Verformungen um ca. 50% verringert werden können, wenn während der ersten 60 Tage nach der Herstellung zwängungsfreie Verformungen im Überbau ermöglicht werden. Die längeren bis zum Fugenschluss untersuchten Zeitdauern sind jedoch für die Praxis weitestgehend irrelevant.

#### 2.1.5 ABBAU/REDUKTION VON ZWANGSSCHNITTGRÖßEN

Wie bereits in 2.1.2 erläutert, dient das Relaxationsverhalten des Betons dazu, Zwangsbeanspruchungen abzubauen. Eine genaue Modellierung dieses Verhaltens ist jedoch schwierig, da einerseits die kriecherzeugenden Spannungen und andererseits das Kriechvermögen des Betons Funktionen in Abhängigkeit der Zeit sind. Aufgrund dieser Tatsache ist es in der Praxis üblich das von Trost [7] entwickelte Verfahren anzuwenden. Dabei wird durch die Einführung des konstanten Relaxationsfaktors  $\mu$  dem reduzierten Kriechvermögen des Betons im späten Alter Rechnung getragen. Der Abbau der Zwängungen kann abhängig von deren Wirkungsbeginn und deren Wirkungsdauer in den günstigsten Fällen bis zu 80% betragen.

Saisonale Temperaturschwankungen erfahren jedoch eine geringe Reduktion durch die Relaxation. Ein noch geringerer Effekt ist aufgrund der sehr kurzen Wirkungsdauer bei täglichen Temperaturschwankungen festzustellen. [2 S. 12 f.]

## 2.2 BODEN-BAUWERKSINTERAKTION

---

Anhand von 2.1 ist bereits erkenntlich, dass die vorhandenen Steifigkeiten des Bauwerks eine große Rolle im Entwurf und der anschließenden Bemessung spielen. Daraus lässt sich ableiten, dass auch der Übergang zwischen Bauwerk und dem anstehenden Boden von großer Bedeutung ist. Wie sich dieser unter verschiedenen Einwirkungen verhält und welche Auswirkungen dies auf das Tragwerk hat, wird im Folgenden erläutert. [2 S. 13]

### 2.2.1 ERDDRUCK – THEORETISCHE GRUNDLAGEN

---

Eines der wichtigsten Verhältnisse eines integralen Brückenbauwerks ist das der Längssteifigkeit des Überbaus zur Unterbausteifigkeit. Letztere umfasst die Widerlager, die Stützen und deren Fundierung. Für die meisten Fälle ist die Steifigkeit des Unterbaus so gering, dass die Verformungen im Überbau zum Großteil ermöglicht werden. Diese Verschiebungen müssen somit vom Unterbau aufgenommen werden. [2 S. 14] Die Erddrücke entstehen durch monotone (aus Kriechen, Schwinden, Vorspannung) und zyklische (aus Temperatur) Bewegungen des Bauwerks. Abbildung 3 zeigt die Verschiebungen aufgrund dieser Bewegungen. [6 S. 296]

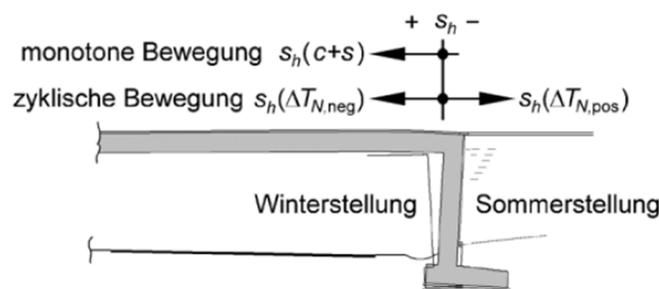


ABBILDUNG 3: DARSTELLUNG DER BAUWERKSVERSCHIEBUNG AUFGRUND MONOTONER BZW. ZYKLISCHER BEWEGUNGEN [6 S. 296]

Im unberührten Zustand ist theoretisch der Erdruchedruck  $E_0$  vorhanden. Dieser wird jedoch schon durch kleine Verschiebungen der Widerlagerwand in positive Richtung auf den aktiven Erddruck  $E_a$  reduziert. Eine Erhöhung des Erddruckes ergibt sich aus einer negativen Verschiebung aufgrund von Temperaturexpansion. Dabei können Teile des passiven Erddruckes  $E_p$  mobilisiert werden. [3 S. 108]

### 2.2.2 ERDDRUCK BEI ZYKLISCHER BEANSPRUCHUNG

---

Zyklische Beanspruchungen resultieren aus den Temperaturänderungen, dabei kommt es zu einer Tragwerksausdehnung und -verkürzung (Pumpbewegung – siehe Abbildung 3). Bei einer negativen Verschiebung kommt es zu einer Nachverdichtung der Widerlagerhinterfüllung. Während dieser Phase führt dies zu erhöhten Erddrücken. Bei einer darauffolgenden positiven Verschiebung kommt es jedoch zu Setzungen hinter der Widerlagerwand. Die Größe des Erddruckes ist dabei von dem Ausmaß der Widerlagerverschiebung abhängig. [2 S. 14 ff.] Es ist jedoch noch nicht ausreichend geklärt, wie hoch der Einfluss der Lastspielzahl ist und welche Bedeutung die Richtung der ersten Bauwerksbewegung hat. [4 S. 24]

Weiters ist noch kein einheitlicher Ansatz für den Erddruck aus zyklischer Tragwerksausdehnung vorhanden und es unterscheiden sich die Ansätze in verschiedenen Ländern. In Finnland [8] ist beispielsweise der gesamte passive Erddruck bei einer Rotation von 2 Promille um den Fußpunkt anzusetzen. In der Schweiz [9] sowie in England [10] ist als obere Grenze der halbe passive Erddruck zu berücksichtigen. [2 S. 14 ff.] Abhängig von der Ausbildung der Hinterfüllung und des Widerlagers sind also Werte für den Erddruck im Bereich von 0 (bei speziellen Vorkehrungen) bis  $E_p/2$  realitätsnah. Diese Annahmen sind jedoch aufgrund der unterschiedlichen Böden nicht zu generalisieren. Vielmehr ist es notwendig, eine enge Zusammenarbeit zwischen Bodengutachter und Tragwerksplaner anzustreben. Für die Abbildung der Bodenparameter kann eine Fallunterscheidung durch einen oberen und einen unteren Grenzwert sinnvoll sein. [3 S. 108 f.]

### 2.2.3 ERDDRUCK BEI MONOTONER BEANSPRUCHUNG

---

Unter die monotonen Beanspruchungen fallen Kriechen, Schwinden sowie die Vorspannung. Diese führen zu einer Tragwerksverkürzung und somit zu einer Abminderung des Erddruckes. In der Untersuchungen von Vogt [11] und England [12] sind diese Beanspruchungen jedoch nicht berücksichtigt und auch in der Literatur lässt sich wenig darüber finden. Erwähnt wird lediglich ihr Einfluss auf die Setzungen und somit auf die Gebrauchstauglichkeit (Fahrkomfort). [3 S. 109]

### 2.2.4 REIBUNGSKRÄFTE

---

Für integrale Brücken ergeben sich die Reibungskräfte aus Wand- und Sohlreibung. Die Wandreibung wirkt dabei in Ebenenrichtung der Widerlagerwand und ist abhängig von der Rauigkeit der Wand und dem horizontalen Erddruck. [3 S. 117] Die Wandreibungskräfte liegen jedoch in einer Größenordnung, welche für eine überschlägige Bemessung nicht relevant ist. [4 S. 25] Die Sohlreibung ist von der Rauigkeit der Sohlfläche sowie von der vertikalen Auflast ableitbar. Dabei können die Reibungskräfte stets in beide Richtungen auftreten. Die Sohlreibung hindert bei einer Flachgründung die Überbauverformungen und verursacht somit Zwangskräfte. [3 S. 117]

## 2.3 EINFLUSS DER BRÜCKENGEOMETRIE

---

Die Geometrie von integralen Brückenbauwerken in Grund- und Aufriss, deren Kreuzungswinkel, die Gründungsverhältnisse sowie die Geometrie der Widerlager und der Stützen beeinflussen deren Steifigkeit und somit die resultierenden Zwangsschnittgrößen maßgebend. Da es im Zuge des Tragwerkentwurfes ein Ziel ist, diese Zwangsbeanspruchungen zu reduzieren, wird im Folgenden auf die einzelnen Einflussgrößen näher eingegangen und deren Auswirkung beschrieben.

### 2.3.1 KRÜMMUNG IN GRUND- UND AUFRISS

---

Im Gegensatz zu geraden Brücken können sich im Grundriss gekrümmte Brücken durch radiale Verschiebungen den Zwangseinwirkungen teilweise entziehen. Abhängig vom Öffnungswinkel im Grundriss, welcher sich aus dem Verhältnis der Brückenlänge zum Krümmungsradius ergibt, kann dies selbst bei steifen Bauwerken Abminderungen von über 90 % zur Folge haben. [3 S. 106]. Sollten Stützen, welche eine große Steifigkeit in Querrichtung aufweisen, vorhanden sein, ist die Betrachtung des Öffnungswinkels der Brücke über die gesamte Länge nicht ausreichend. Es ist dann notwendig die Öffnungswinkel auf die Stützweiten der einzelnen Felder zu beziehen. [2 S. 27] Weitere wichtige Einflussparameter für das Tragwerksverhalten von gekrümmten Brücken sind die Querbiegesteifigkeit des Überbau sowie die Nachgiebigkeit des Brückenunterbaus. [3 S. 106]. Zu beachten gilt, dass behinderte Längenänderungen welche infolge von Schwinden und Änderungen der Temperatur resultieren, auch bei im Grundriss gekrümmten Brücken hohe Normalkräfte verursachen. [2 S. 27]

Eine Krümmung im Aufriss hat ebenfalls eine abmindernde Wirkung auf entstehende Zwangsnormalkräfte. Da jedoch eine sehr große Ausrundung erforderlich ist, welche aufgrund der maximalen Längsneigung nicht praxisrelevant ist, spielt die Reduktion der Zwangsnormalkräfte durch eine Krümmung im Aufriss nur eine untergeordnete Rolle. [2 S. 27]

### 2.3.2 KREUZUNGSWINKEL

---

Ein Schiefstellungswinkel der Fahrbahn im Grundriss erhöht die effektive Steifigkeit von integralen Widerlagern. Dieser Umstand erschwert eine zwängungsarme Durchbildung der Brückenenden. Vertikale Einwirkungen auf schiefe Rahmenbrücken verursachen horizontale Verschiebungen in Längs- und Querrichtung. Die maximalen Verschiebungen treten am Brückenrand auf. [13 S. 15] Die in Längsrichtung des Tragwerks resultierenden Kräfte verursachen eine drehende Kraft, welche üblicherweise durch Reibungskräfte an den Widerlagerwänden und dem Erdwiderstand kompensiert werden. Auch haben Flügelwände eine starke rückhaltende Wirkung. [3 S. 138]

### 2.3.3 LÄNGSNEIGUNG

---

Laut Untersuchungen von Geier [3 S. 136] hat die Längsneigung keinen relevanten Einfluss auf die Zwangsnormalkräfte sowie auf die auftretenden Verschiebungen. Zu beachten gilt lediglich, dass aus vertikalen Lasten Normalkräfte im Überbau entstehen.

### 2.3.4 GRÜNDUNGSVERHÄLTNISSE

---

Die Ausbildung der Gründung und somit deren Steifigkeit hat maßgeblichen Einfluss auf die im Überbau entstehenden Zwangsschnittgrößen. Die Nachgiebigkeit der Gründung ist bei der Untersuchung von integralen Brückenbauwerken stets zu berücksichtigen, da es sich um ein statisch unbestimmtes System handelt.

Eine Variante der Gründungen sind Flachfundamente. Sie tragen auftretende Vertikallasten und Biegemomente über in der Sohlfläche wirkende Normalspannungen ab. Da auch auf hartem Untergrund positionierte Flachgründungen aufgrund der großen Längssteifigkeit des Überbaus hohe Reduktionen der Zwangsnormalkräfte ermöglichen, sollten sie stets in der Berechnung berücksichtigt werden. Die hierfür benötigten Federkonstanten können aus Setzungsberechnungen bzw. in der Literatur [14] verankerten Näherungsformeln ermittelt werden.

Eine weitere Variante sind Tiefgründungen, welche ausgeführt werden, um das Bauwerk mit einem tragfähigen Baugrund in größeren Tiefen zu verbinden. Es ist notwendig, das im Pfahlkopf auftretende Moment über Pfahlbiegung abtragen zu können. Wenn möglich sollte eine einzige Reihe von Pfählen angeordnet werden, damit wird neben der horizontalen Verformung auch eine Verdrehung im Pfeilerfuß/Pfahlkopf möglich. [3 S. 117 f.]

### 2.3.5 WIDERLAGER

---

Das Verformungsvermögen der Widerlagerwände, welches von deren Steifigkeit und vom Steifigkeitsverhältnis zwischen Überbau und Widerlager abhängig ist, hat markanten Einfluss auf die im Überbau resultierenden Schnittgrößen infolge von Zwang. Bei der Ausbildung eines weichen Widerlagers ist dessen Nachgiebigkeit maßgebend an den Zwangsschnittgrößen im Überbau beteiligt. Im Falle einer sehr steifen Ausführung kann das Verformungsverhalten des Widerlagers jedoch vernachlässigt werden, da die Steifigkeit der Gründung der bestimmende Faktor ist. Das Verformungsvermögen der Widerlager wird bei Flachgründungen durch den Drehwiderstand der Gründungssohle beeinflusst. Bei Tiefgründungen hängt dies jedoch von der horizontalen Bettung ab. Somit ist die Ausbildung der Widerlager sehr stark an die Steifigkeit der Gründung gekoppelt. Eine elastische Ausbildung der Widerlager ermöglicht eine Reduktion der Zwangsschnittkräfte.

Um ein nachgiebigeres Verhalten zu gewährleisten, können folgende Maßnahmen im Zuge des Brückenentwurfs getroffen werden:

- Verringerung der Steifigkeit des Widerlagers (geringere Flügelabmessungen)
- Reduktion der Widerlagerhöhe, sowie
- Widerlagersohle in Damm- bzw. Böschungsbereich verlegen [3 S. 111 ff.]

### 2.3.6 STÜTZEN

Die Ausbildung von Stützen und deren Anordnung beeinflussen nicht nur das Erscheinungsbild einer Brücke maßgebend sondern haben auch einen bestimmenden Einfluss auf die Zwangsschnittgrößen im Überbau. Vor allem die Stützensteifigkeit spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Zu erwähnen ist, dass für die Ermittlung der Zwangskräfte der obere Grenzwert der Stützensteifigkeit betrachtet werden muss, während für die Tragsicherheit der untere Grenzwert herangezogen wird. [2 S. 23]

Hinsichtlich der Stützenanordnung in Längsrichtung gilt es zu beachten, dass eine Reduktion der Stützenanzahl mit einer Reduktion der Verformungsfähigkeit einhergeht. Dies lässt sich auf eine überproportionale Zunahme der einzelnen Pfeilerabmessungen zurückführen. Dieser Umstand kann jedoch durch die Anordnung von Doppelpfeilern verbessert werden. Wie in 2.3.1 erläutert, beeinflusst die Quersteifigkeit der Pfeiler, vor allem bei Brücken mit einer Krümmung im Grundriss, das Verhalten entscheidend. Ziel ist es, diese Quersteifigkeit gering zu halten, um die durch die Krümmung gewonnen Vorteile hinsichtlich Zwang aufgrund der Verformbarkeit aufrecht zu erhalten. Dies kann durch die Auflösung eines einzelnen Pfeilers in mehrere nebeneinander angeordnete Pfeiler mit kleineren Querschnittsabmessungen gewährleistet werden (siehe Abbildung 4). [3 S. 114 f.]

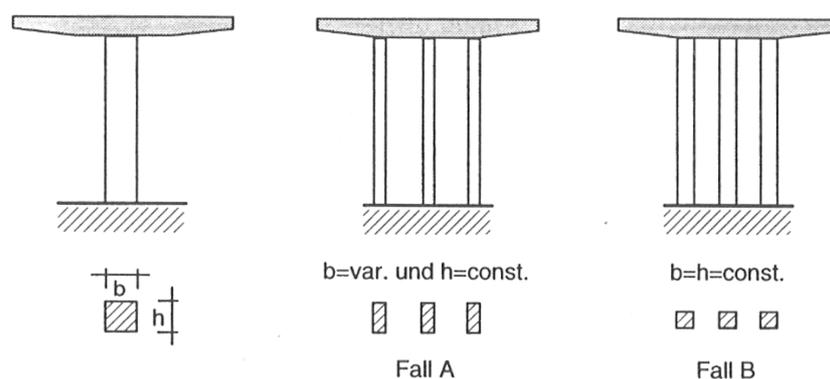


ABBILDUNG 4: AUFLÖSUNG EINES PFEILERS [15 S. 37]

Die Stützengestaltung hat jedoch auch für gerade Brücken großen Einfluss. Nicht nur die Querschnittsabmessungen und die Materialwahl sind von Bedeutung sondern auch die Knotenausbildung im Stützenkopf (Voute) und die Stützenlänge. Die Dimensionierung von Pfeilern ist ein iterativer Prozess, da sie an das Verhalten des Überbaus gekoppelt sind. [3 S. 114 f.]

### 3 ERMITTLUNG DER EINWIRKUNGEN IM NORMATIVEN VERGLEICH

---

In diesem Kapitel wird auf die verschiedenen Einwirkungen, welche für Brückenbauwerke auftreten, eingegangen. Die Betrachtung umfasst die aktuelle Normungssituation (ÖNorm EN 1991 bzw. ÖNorm B 1991) aber auch ältere österreichische Normen (ÖNorm B 4002 (1970) [16]) wie sie für die Bemessung der Bestandstragwerke zum Einsatz kamen. Für die Ermittlung des Erddrucks wird aufgrund aktuell fehlender Normenregelungen für Rahmenbrücken auf verschiedene Ansätze eingegangen.

#### 3.1 STÄNDIGE EINWIRKUNGEN

---

##### 3.1.1 ÖNORM EN 1991-1-1 (2011-09-01) BZW. ÖNORM B 1991-1-1 (2011-12-01)

---

Gemäß ÖNorm EN 1991-1-1 [17] bzw. ÖNorm B 1991-1-1 [18] fallen unter die ständigen Lasten die Eigengewichte aus tragenden und nicht tragenden Bauteilen. Somit sind einerseits das Tragwerk selbst aber auch Fahrbahnbeläge, Beschichtungen, Bordsteine, Geländer, Kabelrohre, Versorgungsleitungen, etc. in die Berechnung als ständige Lasten miteinzubeziehen. Zu beachten gilt hierbei aber, dass beispielsweise das Eigengewicht einer Flüssigkeit in einer Versorgungsleitung als veränderliche Einwirkung (Nutzlast) zu betrachten ist.

Das Eigengewicht ergibt sich somit aus den Bauteilabmessungen und den Wichten der verwendeten Materialien. Sollten bei diesen Parametern Unsicherheiten auftreten, kann es zweckmäßig sein, Grenzwertbetrachtungen anzustellen. [19 S. 22 ff.] Speziell bei Straßenbrücken kann es notwendig werden, eine Ausgleichsgradiente herzustellen, was bereits im Vorhinein durch eine Zusatzlast berücksichtigt werden sollte. [20 S. 16 f.]

##### 3.1.2 ÖNORM B 4002 (1970-12-01)

---

Gemäß ÖNorm B 4002 [16] sind die ständigen Lasten als gleichmäßig verteilt anzunehmen. Die ständigen Lasten umfassen das Gewicht vom Tragwerk, der Fahrbahndecke, der Leitungen, der Gehsteige etc. Für die Ermittlung des Gewichts der einzelnen Teile wird auf die ÖNorm B 4002, 2. Teil verwiesen.

## 3.2 EINWIRKUNGEN AUS STRAßENVERKEHR

### 3.2.1 ÖNORM EN 1991-2 (2012-03-01) BZW. ÖNORM B 1991-2 (2011-04-15)

Die Verkehrslasten gemäß ÖNorm EN 1991-2 [21] bzw. ÖNorm B 1991-2 [22] decken die Einwirkungen aus Personenkraftwagen, Lastkraftwagen sowie Sonderfahrzeugen ab. Zusätzlich kann es projektabhängig notwendig sein, nicht in den Regelwerken erfasste Fahrzeuge in die Berechnung miteinzubeziehen.

#### 3.2.1.1 RECHNERISCHE FAHRSTREIFEN

Im ersten Schritt wird die Fahrbahn, abhängig von der gesamten Fahrbahnbreite  $w$ , in einzelne rechnerische Fahrstreifen unterteilt. Dabei ergibt sich  $w$  aus dem Abstand zwischen den Innenkanten des Rückhaltesystems bzw. der Schrammborde. Die Anzahl und Breite der rechnerischen Fahrstreifen und die Breite eines möglichen Reststreifens sind somit von der Gesamtfahrbahnbreite abhängig und errechnen sich gemäß folgender Tabelle.

TABELLE 2: ANZAHL UND BREITE DER RECHNERISCHEN FAHRSTREIFEN [21 S. 31]

Fahrbahnbreite $w$	Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen	Breite eines rechnerischen Fahrstreifens $w_l$	Breite der verbleibenden Restfläche
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_l = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_l = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 \times n_l$

ANMERKUNG Zum Beispiel ergibt sich für eine Fahrbahn von 11m die Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen zu  $n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right) = 3$ . Die Breite der vorhandenen Restfläche beträgt:  $11 - 3 \times 3 = 2\text{m}$ .

Die Fahrstreifen sind so anzuordnen, dass sich die jeweils ungünstigste Einwirkung ergibt. Die Nummer 1 trägt der Fahrstreifen, der die ungünstigste Wirkung hervorruft, gefolgt von dem am zweitungünstigsten wirkenden Fahrstreifen. Dies setzt sich über alle vorhandenen Fahrstreifen fort.

### 3.2.1.2 VERTIKALE LASTEN, LASTMODELLE

Für die vertikale Belastung der Fahrstreifen stehen die vier nachstehenden Lastmodelle zur Verfügung:

#### Lastmodell 1 (LM1):

*Einzellasten und gleichmäßig verteilte Lasten, die die meisten der Einwirkungen aus LKW- und PKW-Verkehr abdecken. Dieses Modell kann sowohl für globale als auch für lokale Nachweise angewendet werden.*

#### Lastmodell 2 (LM2):

*Eine Einzelachse mit typischer Reifenaufstandsfläche, die die dynamischen Einwirkungen üblichen Verkehrs bei Bauteilen mit sehr kurzen Stützweiten berücksichtigt.*

#### Lastmodell 3 (LM3):

*Gruppe von Achslastkonfigurationen idealisierter Sonderfahrzeuge für ausgewiesene Schwerlaststrecken. Das Modell ist für globale und lokale Nachweise gedacht.*

#### Lastmodell 4 (LM4):

*Menschenansammlungen. Das Lastmodell ist nur für globale Nachweise gedacht und ist als vorübergehende Bemessungssituation zu betrachten. [23 S. 89 f.]*

#### 3.2.1.2.1 LASTMODELL 1

Das Lastmodell 1 gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil ist eine Doppelachse (TS), welche in jedem rechnerischen Fahrstreifen nur einmal in der ungünstigsten Stellung zu positionieren ist. Die aufzubringende Achslast beträgt  $\alpha_Q \cdot Q_k$  und ist mit einer Radaufstandsfläche von 0,40 [m] Seitenlänge zu berücksichtigen. Der zweite Teil ist eine verteilte Gleichlast (UDL) und beträgt  $\alpha_q \cdot q_k$ . In beiden Fällen handelt es sich bei dem  $\alpha$ -Wert um einen Anpassungsfaktor. Die aufzubringenden Lasten sind von der Nummer  $i$  des jeweiligen Fahrstreifens abhängig (siehe Tabelle 3 und Abbildung 5).

TABELLE 3: LASTMODELL 1 - CHARAKTERISTISCHE WERTE [21 S. 35]

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

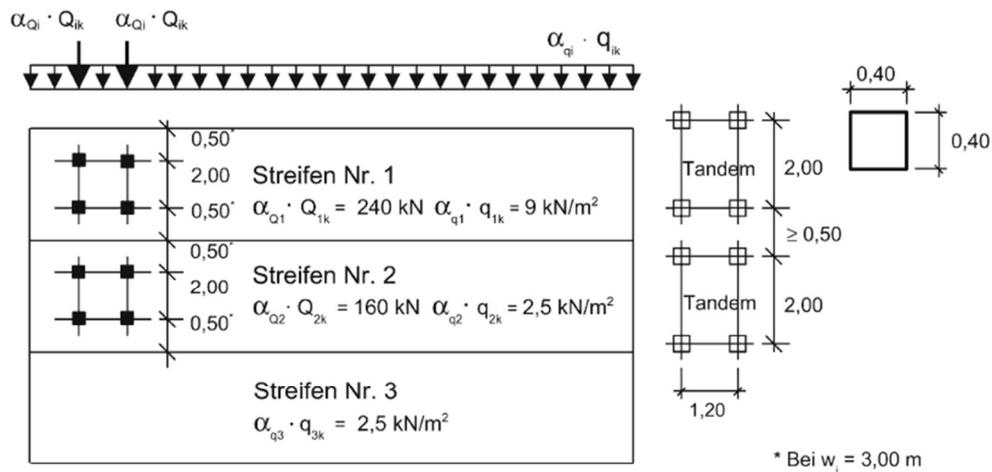


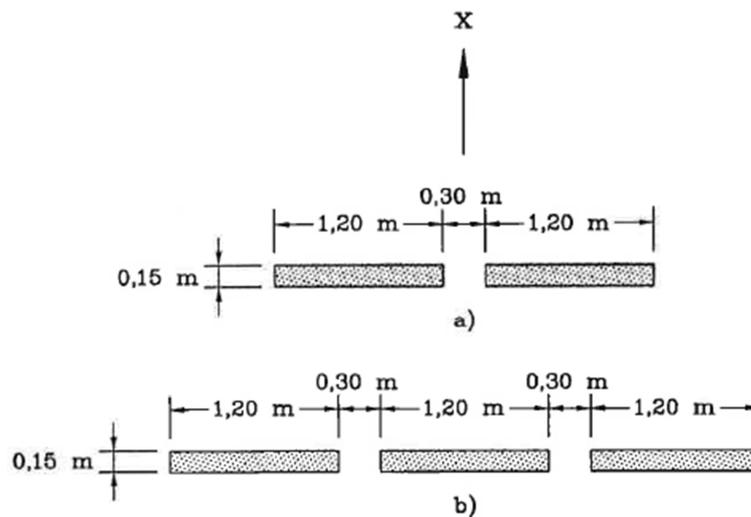
ABBILDUNG 5: LASTMODELL 1 - LASTEN AUF DEN EINZELNEN FAHRSTREIFEN [24 S. 460]

### 3.2.1.2.2 LASTMODELL 2

Dieses Modell umfasst eine Einzelachse. Die aufzubringende Last beträgt  $\beta_Q * Q_{ak}$ , wobei  $\beta = 1,0$  und  $Q_{ak} = 400 [kN]$  gilt. Die Radaufstandsfläche entspricht einem Rechteck, welches Seitenlängen von 0,35 [m] und 0,60 [m] aufweist.

### 3.2.1.2.3 LASTMODELL 3

Das Lastmodell 3 dient zur Abbildung von Sonderfahrzeugen. Im Allgemeinen kommt das genormte Basismodell, welches ein Gesamtgewicht von 3000 [kN] hat, zum Einsatz. Festzulegen ist zusätzlich noch die Anzahl der Achsen. Anzuwenden ist das Lastmodell entweder auf einem oder auf zwei nebeneinanderliegenden rechnerischen Fahrstreifen



#### Legende

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

ABBILDUNG 6: LASTMODELL 3 - ANORDNUNG DER ACHSLASTEN [21 S. 127]

Bei dem Lastmodell 3 ist auch die Geschwindigkeit des Fahrzeuges durch den Bauherrn festzulegen. Dabei wird unterschieden, ob sich die Sonderfahrzeuge mit geringer (5 [km/h]) oder mit normaler (70 [km/h]) Geschwindigkeit bewegen. Bei der Annahme einer geringen Geschwindigkeit gilt es als ausreichend, nur vertikale Lasten ohne dynamischem Beiwert aufzubringen. Bei normaler Geschwindigkeit ist es jedoch nötig, eine dynamische Vergrößerung der Einwirkungen zu berücksichtigen.

### 3.2.1.2.4 LASTMODELL 4

Dieses Lastmodell umfasst Menschenansammlungen am Bauwerk, welcher durch einer gleichmäßig verteilten Last von 5 [kN/m<sup>2</sup>] Rechnung getragen wird. Diese Lastannahme ist als vorübergehende Bemessungssituation anzusehen und für globale Nachweise gedacht.

### 3.2.1.3 HORIZONTALE EINWIRKUNGEN

Als horizontale Verkehrslasten treten Bremsen und Anfahren bzw. die Einwirkung aus Fliehkraft auf. Die Lasten aus Bremsen und Anfahren sind in Längsrichtung in Höhe der Oberkante des fertigen Fahrbahnbelages anzusetzen. Für den gesamten Überbau sind sie jedoch mit maximal 900 [kN] begrenzt. Die ermittelte Bremslast  $Q_{lk}$  ist als Linienlast entlang der Mittellinie eines Fahrstreifens anzubringen (siehe Abbildung 7).

Fliehkraftbelastungen sind ebenso in der Höhe des fertigen Belages anzusetzen. Dabei ist die Wirkungsrichtung radial zur Fahrbahnachse gerichtet. Der charakteristische Lastwert  $Q_{tk}$  ist abhängig vom horizontalen Kurvenradius und der Summe der Doppelachslasten aus LM1 zu ermitteln (siehe Abbildung 7).

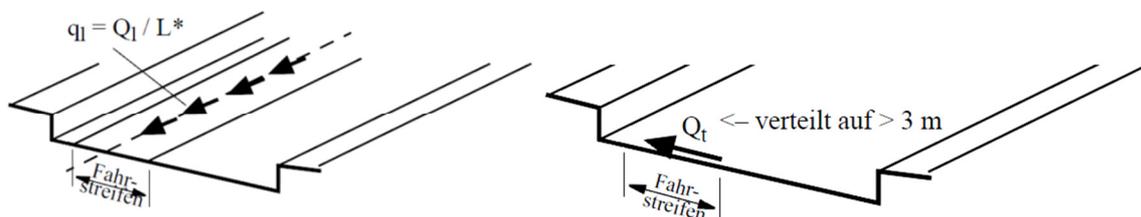


ABBILDUNG 7: LASTAUFBRINGUNG AUS BREMSEN BZW. ANFAHREN (LINKS), LASTAUFBRINGUNG AUS FLIEHKRAFT (RECHTS) [19 S. 8]

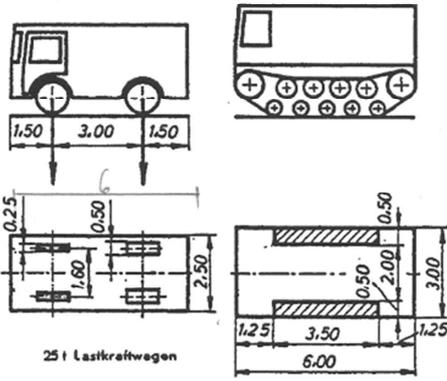
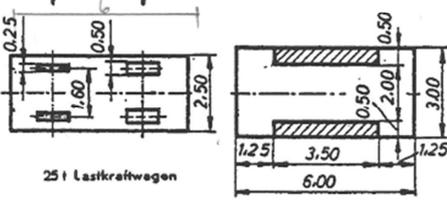
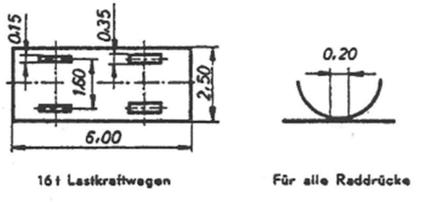
## 3.2.2 ÖNORM B 4002 (1970-12-01)

Die Verkehrslasten werden laut ÖNorm B 4002 [16] in vertikale und horizontale Lasten unterteilt.

### 3.2.2.1 VERTIKALE LASTEN LT. ÖNORM B 4002 (1970-12-01)

Laut ÖNorm B 4002 (2.2) [16] ist das Tragwerk, ähnlich wie gemäß Eurocode, in 2,5 [m] breite Fahrstreifen zu unterteilen, auf welche als Belastung LKWs aufzubringen sind. Dabei sind für Brücken der Klasse I auf zwei benachbarten Fahrstreifen je ein 25 [to] und auf alle verbleibenden Fahrstreifen je ein 16 [to] Fahrzeug anzunehmen. Eine Aufstellung der einzelnen Lasten bietet Tabelle 4. In älteren Normen [25] [26] [27] wird statt des 16 [to] schweren Fahrzeuges ein Fahrzeug mit 14 [to] zur Berechnung herangezogen. Dabei ist die ungünstigste Laststellung in Längs- und Querrichtung zu finden. Eine Quer- bzw. Schrägstellung der Fahrzeuge ist dabei jedoch nicht zu betrachten.

TABELLE 4: VERKEHRLASTEN GEMÄß ÖNORM B 4002 (1970) [16 S. 6]

		Brückenklassen		I		II	
 <p>Maße in m</p> <p>25 t Lastkraftwagen</p>	Laschkraftwagen	Gesamtgewicht	t	25	16	16	
	Vorderrad	t	4	2,5	2,5		
	Hinterrad	t	8,5	5,5	5,5		
	Ersatzlast	t/m <sup>2</sup>	1,67	1,07	1,07		
 <p>60 t Raupenfahrzeug</p>	Raupenfahrzeug	Gesamtgewicht	t	60	—		
	Raupenlast	t/m <sup>2</sup>	17,14	—			
	Ersatzlast	t/m <sup>2</sup>	7,33	—			
 <p>16 t Lastkraftwagen</p> <p>Für alle Reddrücke</p>	Gleichlast	auf Brücken mit einer Fahrbahnbreite $B < 10$ m je Tragwerk und einer Stützweite $l$ von	$l \leq 50$	500	400		
		$50 \leq l < 70$	kg/m <sup>2</sup>	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	$l \leq 30$	500	400		
		$30 < l < 70$	kg/m <sup>2</sup>	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.							

Zusätzlich ist eine Gleichlast abhängig von der Brückenlänge und Brückenbreite aufzubringen, welche maximal 5 [kN/m<sup>2</sup>] beträgt und unter Einhaltung bestimmter Kriterien abgemindert werden kann (siehe Tabelle 4). Neben dem Regelverkehr, der über die Belastung aus LKWs und die Gleichlast abgedeckt ist, muss das Tragwerk auch einem 60 [to] schweren Raupenfahrzeug im Alleingang genügen.

Um dynamische Effekte abzubilden, ist der abhängig von der Brückengeometrie und vom Material des Bauwerks ermittelte dynamische Beiwert  $\varphi$  mit den obigen Lasten zu multiplizieren. [16]

### 3.2.2.2 HORIZONTALE LASTEN LT. ÖNORM B 4002 (1970-12-01)

Als horizontale Einwirkungen sind Bremskräfte, Reibungswiderstände und Rückstellkräfte in der Berechnung zu berücksichtigen. Zur Erfassung der Bremskraft wird der Maximalwert aus folgenden Möglichkeiten ermittelt: [16 S. 8]

- 30% des schwersten in Betracht kommenden Regelfahrzeuges (ausgenommen des Raupenfahrzeuges),
- 1 [to] je Meter Fahrbahnbreite zwischen den Leitschienen (Schrammborden),
- 5% der Vollbelastung der Fahrbahn zwischen den Leitschienen (Schrammborden) mit der maßgebenden Gleichlast ohne dynamischen Beiwert auf der gesamten Überbaulänge, jedoch nicht mehr als 200 [m] Länge. [16]

### 3.3 TEMPERATURLASTEN

---

#### 3.3.1 ÖNORM EN 1991-1-5 (2012-01-01) BZW. ÖNORM B 1991-1-5 (2012-01-01)

---

Die Temperatureinwirkungen gemäß ÖNorm EN 1991-1-5 [28] bzw. ÖNorm B 1991-1-5 [29] werden in einen konstanten ( $\Delta T_N$ ) und einen linear veränderlichen ( $\Delta T_M$ ) Anteil gegliedert.

##### 3.3.1.1 KONSTANTER ANTEIL

Im ersten Schritt sind die maximale und minimale Außenlufttemperatur ( $T_{max}, T_{min}$ ) für das Bauwerk zu ermitteln, diese sind im nationalen Anhang festgelegt. In Abhängigkeit vom Brückentyp werden diese Werte korrigiert (daraus ergeben sich  $T_{e,max}, T_{e,min}$ ). Unter Verwendung der Einbautemperatur  $T_0$  können nun die auf das System aufzubringenden konstanten Temperaturanteile  $\Delta T_{N,con}$  (maximale negative Änderung – Verkürzung) und  $\Delta T_{N,exp}$  (maximale positive Änderung – Ausdehnung) errechnet werden. [28]

Für die Temperatureinwirkungen auf die Widerlagerwände kann gemäß ÖNorm B-1991-1-5 (6.1.6) [29] ein Unterschied von 10 [°C] zur Fahrbahnplatte angenommen werden.

##### 3.3.1.2 LINEAR VERÄNDERLICHER ANTEIL

An dieser Stelle wird ausschließlich das in der ÖNorm EN 1991-1-5 (6.1.4.1) [28] angeführte Verfahren 1 näher ausgeführt, das über den Querschnitt linear veränderliche Anteile betrachtet. Auf das Verfahren 2, welches auch nicht-lineare Einflüsse in die Rechnung miteinbezieht, wird nicht eingegangen.

Für die linear veränderlichen Temperaturlasten werden direkt die benötigten Werte  $\Delta T_{M,heat}$  (Erwärmung – wärmere Oberseite) und  $\Delta T_{M,cool}$  (Abkühlung – wärmere Unterseite) in der Norm bzw. im nationalen Anhang angegeben. In Abhängigkeit vom Brückentyp und der Dicke des Oberbelages können diese Werte mit dem Faktor  $k_{sur}^1$  modifiziert werden. [28] [29]

---

<sup>1</sup>Faktor, welcher den Einfluss der Oberbelagsdicke bei der Ermittlung des linear veränderlichen Temperaturanteils berücksichtigt [19]

### 3.3.1.3 KOMBINATION VON KONSTANTEM UND LINEAR VERÄNDERLICHEM ANTEIL

Es entstehen aus konstantem und linear veränderlichem Anteil in Summe vier Lastfälle. Um eine mögliche Überlagerung der zwei Anteile zu berücksichtigen, sind gemäß ÖNorm EN 1991-1-5 (6.1.5) [28] zusätzlich noch die vier folgenden Kombinationen zu erstellen. Aus den vier Grundlastfällen und den vier Kombinationen ist stets der ungünstigste Fall zu wählen. [28]

$$\Delta T_{M,heat} + 0,35 \cdot \Delta T_{N,exp} \qquad 0,75 \cdot \Delta T_{M,heat} + \Delta T_{N,exp}$$

$$\Delta T_{M,cool} + 0,35 \cdot \Delta T_{N,con} \qquad 0,75 \cdot \Delta T_{M,cool} + \Delta T_{N,con}$$

### 3.3.2 ÖNORM B 4200 TEIL 4 (1984-08-01)

---

Die Temperaturlasten sind in ÖNorm B 4200 Teil 4 (5.2(1)) [30] geregelt.

*Bei der Berechnung von ganz oder teilweise freistehenden Tragwerken oder Tragwerksteilen aus Stahlbeton sind, wenn nicht außerordentliche Verhältnisse vorliegen, Temperaturänderungen von  $\pm 20$  [°C] zu berücksichtigen. Dabei ist jeweils über den ganzen Bauteilquerschnitt dieselbe Temperatur vorzusetzen. [30]*

### 3.4 ERDDRUCKVERTEILUNG

An dieser Stelle wird auf den erhöhten Erddruck, welcher aus zyklischer Beanspruchung (siehe 3.3) und der daraus resultierenden Nachverdichtung der Hinterfüllung entsteht, näher eingegangen.

Eine Bewegung weg vom Erdreich ist schon in sehr geringem Maße (Promillebereich) ausreichend, um den aktiven Erddruck ( $E_a$ ) zu mobilisieren. Eine Verschiebung hin zum Erdreich weckt Teile des passiven Erddrucks ( $E_p$ ). Um diesen vollständig zu mobilisieren sind jedoch große Verschiebungen nötig. [31 S. 370] Diese Pumpbewegung ist in 2.2 bzw. Abbildung 3 dargestellt. Der Zusammenhang zwischen Verschiebung und dem mobilisierten Erddruck wird qualitativ in Abbildung 8 für die Parallelverschiebung einer Wand dargestellt.

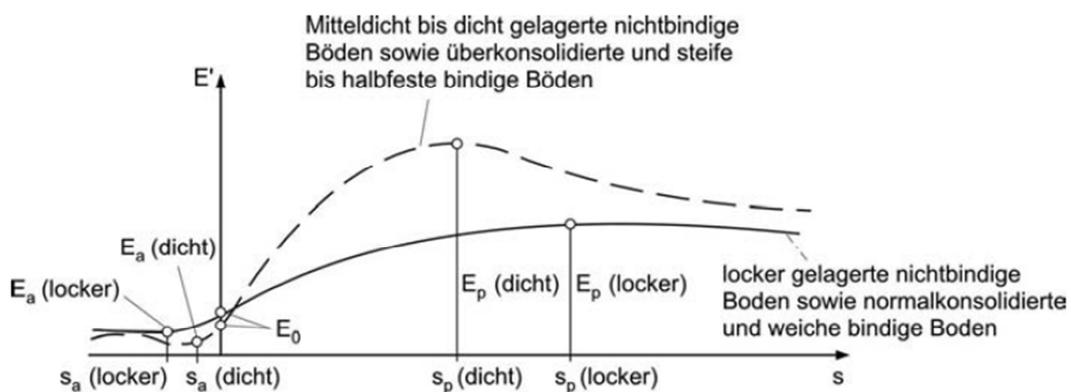


ABBILDUNG 8: QUALITATIVER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN VERSCHIEBUNG UND MOBILISIERTEM ERDDRUCK (PARALLELVERSCHIEBUNG DER WAND) [31 S. 371]

In der Literatur finden sich hierzu verschiedene Ansätze und Mobilisierungsfunktionen. Deren Anwendbarkeit ist jedoch stark von den jeweiligen Randbedingungen abhängig. Da es noch keine einheitliche Lösung gibt, werden an dieser Stelle unterschiedliche Ansätze betrachtet.

#### 3.4.1 ASTRA 12 004 (2001) BZW. UK HIGHWAYS AGENCY DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES (2003)

Gemäß dem UK Highways Agency Design Manual for Roads and Bridges [10], auf welches auch die Richtlinie „Konstruktive Einzelheiten von Brücken“ des Schweizer Bundesamtes für Straßen [13] verweist, ist im ersten Schritt zwischen einer Rotation um einen Fußpunkt bzw. um einen fiktiven Drehpunkt und einer Translation der Widerlagerwand zu unterscheiden. Wo sich für den Fall der Rotation der Drehpunkt befindet und wie sich die Erddruckverteilung aufgrund der Nachverdichtung zusammensetzt ist schematisch in Abbildung 9 dargestellt.

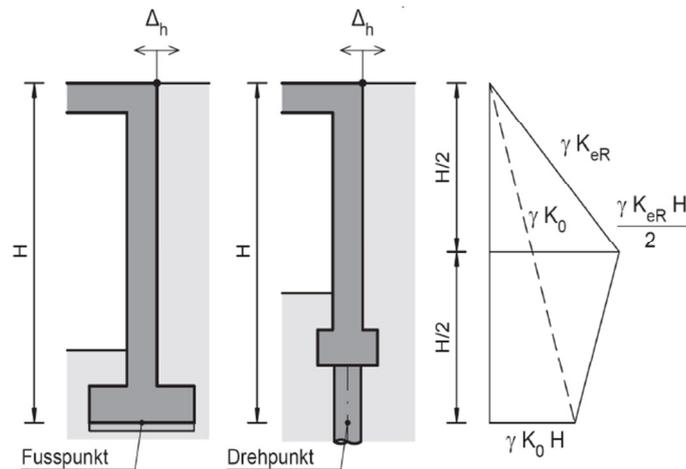


ABBILDUNG 9: ERHÖHTER ERDDRUCK AUFGRUND VON NACHVERDICHTUNG LT. UK HIGHWAYS AGENCY DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES [13 S. 37]

Der erhöhte Erddruckbeiwert  $K_{eR}$  ergibt sich zu:

$$K_{eR} = K_0 + \left(33 \cdot \frac{\Delta h}{H}\right)^{0,6} \cdot K_p \leq K_p$$

$K_0$  ist dabei der Erdrückbeiwert und  $K_p$  bezeichnet den passiven Erddruckbeiwert. Letzterer ist für einen Wandreibungswinkel von  $\delta = -\varphi/2$  anzusetzen.  $\Delta h$  ergibt sich aus der Differenz der maximalen und der minimalen Kopfpunktverschiebung der Widerlagerwand unter der häufigen Lastfallkombination. Als  $H$  ist die Höhe zwischen Widerlagerwandkopf und deren Fußpunkt bzw. dem fiktiven Drehpunkt bei Pfahlfundierungen bezeichnet.

Translatorische Verschiebungen treten bei Rahmensystemen ausschließlich bei sehr geringen Widerlagerwandhöhen auf und rufen eine lineare Verteilung des Erddrucks hervor. Auf eine genaue Beschreibung wird an dieser Stelle verzichtet, dies kann [13 S. 37 f.] entnommen werden.

### 3.4.2 DIN 4085 (2011-05-01)

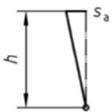
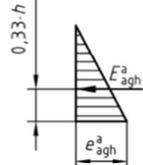
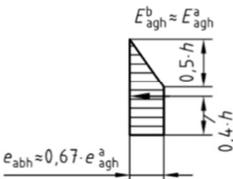
In der DIN 4085 [32] ist der wirkende Erddruck auf Stützkonstruktionen in Abhängigkeit von deren Nachgiebigkeit geregelt. In Ergänzung dazu ist auch der Erddruck, welcher aus Wandbewegungen entsteht, festgelegt. Es ist der volle aktive Erddruck als unterer Grenzwert anzusetzen. Der obere Grenzwert für den Erddruckansatz ergibt sich aus dem erhöhten aktiven Erddruck, welcher in Anhang A geregelt ist. Tabelle 5 bietet eine Übersicht über die verschiedenen Ansatzweisen des erhöhten aktiven Erddrucks in Abhängigkeit von der Nachgiebigkeit der Stützkonstruktion.

TABELLE 5: ERDRUCKANSATZ AUF STÜTZKONSTRUKTIONEN IN ABHÄNGIGKEIT DERER NACHGIEBIGKEIT [32 S. 42]

Zeile	Nachgiebigkeit der Stützkonstruktion	Konstruktion (Beispiele)	Erddruckansatz
1	nachgiebig	Stützwände, die während ihrer gesamten Nutzungszeit geringe Verformungen in Richtung der Erddruckbelastung ausführen können und dürfen. Zum Beispiel Uferwände, auf Lockergestein gegründete Stützwände	aktiver Erddruck
2	wenig nachgiebig	Stützwände nach Zeile 1, bei denen während ihrer Nutzungszeit Verformungen in Richtung der Erddruckbelastung unerwünscht sind und die gegen den ungestörten Boden hergestellt worden sind.	erhöhter aktiver Erddruck $E_{ah}' = 0,75 \cdot E_{ah} + 0,25 \cdot E_{0h}$
3	annähernd unnachgiebig	Stützwände, die auf Grund ihrer Konstruktion unter der Erddruckbelastung anfänglich geringfügig nachgeben, sich dann aber nicht mehr verformen können oder dürfen. z. B.: Kellerwände und Stützwände, die in Bauwerke einbezogen sind und von diesen zusätzlich gestützt werden, Bemessung der stehenden Schenkel von Winkelstützwänden.	erhöhter aktiver Erddruck im Normalfall: $E_{ah}' = 0,50 \cdot E_{ah} + 0,50 \cdot E_{0h}$ in Ausnahmefällen: $E_{ah}' = 0,25 \cdot E_{ah} + 0,75 \cdot E_{0h}$
4	unnachgiebig	Stützwände die auf Grund ihrer Konstruktion weitgehend unnachgiebig sind: Zum Beispiel auf Festgestein gegründete Stützmauern als ebene Systeme und auf Lockergestein gegründete Stützwände als räumliche Systeme, z. B. Brückenwiderlager mit biegesteif angeschlossenen Parallel-Flügelmauern.	erhöhter aktiver Erddruck $E_{ah}' = 0,25 \cdot E_{ah} + 0,75 \cdot E_{0h}$ in Ausnahmefällen bis Erdrudruck

Der Erddruck, welcher aus einer Wandbewegung entsteht, ist abhängig von der Art dieser Bewegung (Drehung um Wandfuß bzw. Parallelverschiebung). Im ersten Schritt werden die für den aktiven Erddruck nötigen Wandverschiebungen in Verhältnis zur Wandhöhe festgelegt. Die Werte sind zudem noch abhängig von der vorhandenen Lagerung. Die sich daraus ergebende Erddruckverteilungen sind Tabelle 6 zu entnehmen.

TABELLE 6: ANHALTSWERTE ZUR ERFORDERLICHEN WANDBEWEGUNG ZUR ERZEUGUNG DES AKTIVEN ERDRUCKS [32 S. 44]

Art der Wandbewegung	Erddruckkraft $E_{agh}$		vereinfachte Erddruckverteilung
	bezogene Wandbewegung $s_a/h$		
	lockere Lagerung	dichte Lagerung	
 a) Drehung um den Wandfuß	0,004 bis 0,005	0,001 bis 0,002	
 b) Parallele Bewegung	0,002 bis 0,003	0,000 5 bis 0,001	

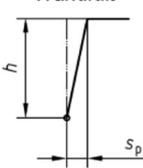
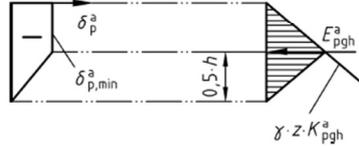
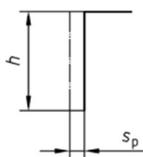
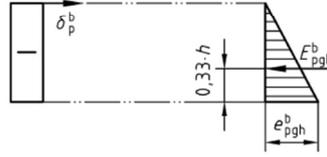
Für die Erddruckverteilung ergibt sich:

$$e_{agh} = \gamma \cdot h \cdot K_{agh}$$

$K_{agh}$  ist der Erddruckbeiwert für den aktiven Erddruck.

Im nächsten Schritt muss kontrolliert werden, ob Teile des passiven Erddrucks aktiviert werden. Die Größe der Einwirkung kann mit Hilfe von Tabelle 7 ermittelt werden.

TABELLE 7: ANHALTSWERTE ZUR ERFORDERLICHEN WANDBEWEGUNG ZUR ERZEUGUNG DES PASSIVEN ERDDRUCKS [32 S. 46]

Art der Wandbewegung	bezogene Wandbewegungen $s_p/h$ in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte $D$ für $D > 0,3$	Erddruckkraft $E_{pgh}$ vereinfachte Verteilung des passiven Erddrucks und Näherung für die Größe der Erddruckkraft <sup>a</sup>
<p>a) Drehung um den Wandfuß</p> 	$s_p/h = -0,08 \cdot D + 0,12$ <p>Die angegebene Gleichung gilt näherungsweise, wenn im negativen Bereich für <math>\delta_p</math> dem Betrag nach <math>\delta_p \leq \varphi/2</math> ist und liefert Mittelwerte. Abweichungen von bis zu <math>\pm 20\%</math> sollten berücksichtigt werden. Innerhalb des Streubereiches nehmen die Werte mit der Wandhöhe etwas zu.</p>	$\frac{1}{2} \cdot E_{pgh}^b \leq E_{pgh}^a \leq \frac{2}{3} \cdot E_{pgh}^b$  $E_{pgh}^a = E_{pgh}^a \cdot \tan \delta_{p,mittel}^a$ $\delta_{p,mittel}^a = \frac{3}{4} \cdot \delta_{p,min}^a$
<p>b) Parallele Bewegung</p> 	<p>Wenn im negativen Bereich für <math>\delta_p</math> dem Betrag nach <math>\delta_p &gt; \varphi/2</math> ist, können größere Beträge für <math>s_p/h</math> auftreten.</p>	$E_{pgh}^b = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_{pgh}^b$  $\delta_{p,mittel}^b = \delta_{p,min}^b$

Für die passive Erddruckverteilung ergibt sich:

$$e_{pgh} = \gamma \cdot h \cdot K_{pgh}$$

$K_{pgh}$  ist der Erddruckbeiwert für den passiven Erddruck.

Für die Wandverschiebungsart a) (Verdrehung um Fußpunkt) zeigt sich, dass die Erddruckresultierende durch die Resultierende der Verschiebungsart b) begrenzt wird. Es kann somit abhängig von den vorhandenen Verschiebungen der wirkende Erddruck ermittelt werden. [32]

### 3.4.3 ZTV-ING TEIL 5: TUNNELBAU, ABSCHNITT 2: OFFENE BAUWEISE (2012-03-01)

---

Die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-Ing) Teil 5, Abschnitt 2 [33] sind für die Betrachtung des Erddrucks auf integrale Brückenbauwerke von Bedeutung. In den ZTV-Ing sind die Lastfälle „Kleinster Erddruck“ und „Größter Erddruck“ festgelegt. Der Lastfall „Kleinster Erddruck“ ist mit  $0,5 \cdot e_a$  anzusetzen. Für den Fall „Größter Erddruck“ wird hingegen der Erdruchdruck  $e_0$  angenommen.

### 3.4.4 RVS 15.02.12 (DERZEIT IN BEARBEITUNG)

---

Die RVS 15.02.12 [34] bietet für integrale Brücken mit einer Länge von weniger als 50 [m] unabhängig von sonstigen Einflüssen den Ansatz, einen oberen Grenzwert von  $1,5 \cdot e_0$  oberhalb der Fundamentunterkante zu verwenden. Als unterer Grenzwert des Erddrucks wird der aktive Erddruck  $e_a$  bzw. 0 für eigenstandsichere Hinterfüllungen angegeben.

### 3.4.5 WEITERE ERDDRUCKANSÄTZE

---

Vogt [11] bietet einen relativ einfachen Ansatz, welcher unabhängig von der Art der Wandverschiebung sowie einer Grenzverschiebung ist. Dieser Ansatz sollte in den meisten Fällen für eine Abschätzung ausreichend sein. Weitere Ansätze wurden von Bartl [35] und Besler [36] formuliert und können der Literatur entnommen werden. [31 S. 374 ff.]

## 3.5 AUßERGEWÖHNLICHE EINWIRKUNGEN

---

### 3.5.1 ÖNORM EN 1991-1-7 (2007-04-01) BZW. ÖNORM B 1991-1-7 (2007-04-01)

---

Die außergewöhnlichen Einwirkungen sind in ÖNorm EN 1991-1-7 [37] bzw. ÖNorm B 1991-1-7 [38] definiert. Aus Straßenverkehr möglicherweise auftretende außergewöhnliche Einwirkungen sind festgelegt: [19 S. 10]

- *Horizontale Lasten:*
  - *Fahrzeuganprall an Überbauten und Pfeiler*
  - *Fahrzeuganprall an Bordsteine, Leiteinrichtungen und tragende Bauteile (von Fahrzeugen am Tragwerk)*
- *Vertikale Lasten:*
  - *Radlasten auf Fußwegen, Radwegen und Randleisten (Abirren von Fahrzeugen von der Fahrbahn)*

Es gilt zu beachten, dass die einzelnen außergewöhnlichen Einwirkungen sich gegenseitig ausschließen und somit nicht zu überlagern sind. [19 S. 11]

### 3.5.2 ÖNORM B 4002 (1970-12-01)

---

Auch lt. ÖNorm B 4002 [16] ist ein Anprall von Straßenfahrzeugen an Stützen und Pfeiler zu berücksichtigen. Sie gibt ein einfaches Modell vor, bei dem alle Stützen und Rahmenstiele, bei denen die Möglichkeit eines Anpralls besteht, zu belasten sind. Dies erfolgt über eine in 1,20 [m] Höhe anzubringenden Ersatzlast, welche mit 100 [to] parallel zur Straßenachse bzw. mit 50 [to] orthogonal zur Straßenachse zu berücksichtigen ist. Die beiden Varianten schließen sich gegenseitig aus und sind somit nicht zu überlagern. Als zusätzlicher Lastfall ist am Überbau ein abgeirrter LKW in ungünstigster Stellung anzunehmen. Hierbei sind keine weiteren Verkehrslasten in Rechnung zu stellen.

## 3.6 WINDLASTEN

---

Da es sich bei der Windlast um eine in der Natur sehr komplexe Einwirkung handelt, kommt für Berechnungszwecke eine vereinfachte Methode (durch die Verwendung von Winddrücken/-kräften) zum Einsatz. Auf eine ausführliche Beschreibung der Windlastermittlung wird an dieser Stelle verzichtet. Der aktuellen Berechnung der Windlasten liegen die ÖNorm EN 1991-1-4 [39] bzw. ÖNorm EN 1991-1-4 [40] zugrunde. Die Ermittlung gemäß veralteter Norm erfolgt laut ÖNorm B 4002 [16].

## 3.7 SCHNEELASTEN

---

Die Einwirkungen aus der Schneelast auf Brückentragwerke sind im Normalfall nicht zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird hier auf eine genauere Ausführung verzichtet. Die Schneelasten für Tragwerke laut EUROCODE sind in den Normen ÖNorm EN 1991-1-3 [41] bzw. ÖNorm B 1991-1-3 [42] geregelt. Weiters finden sich die Schneelasten in der Norm Önorm B 4002 [16].

### 3.8 SONSTIGE EINWIRKUNGEN

---

Abschließend wird auf weitere Einwirkungen eingegangen, welche bei der Bemessung zu berücksichtigen sind. Diese umfassen die Einwirkungen während der Bauphase und die Baugrundbewegungen.

#### Einwirkungen während der Bauausführung:

Gemäß ÖNorm EN 1991-1-6 [43] bzw. ÖNorm B 1991-1-6 [44] sind Lasten während der Bauausführung als veränderliche Lasten anzusehen. Die hier normativ festgelegten Lasten umfassen:

- *Personal und Handwerkzeuge*
- *gestapelte bewegbare Güter*
- *nicht ständig vorhandene Ausrüstungsgegenstände*
- *bewegbare schwere Maschinen und schwere Ausrüstungsgegenstände*
- *Ansammlung von Abfallmaterialien*
- *Lasten durch Teile des Tragwerks für zeitlich begrenzte Bauzustände* [23 S. 73 f.]

Werden Lasten beispielsweise durch Krane oder Hilfskonstruktionen verursacht, so müssen sie abhängig von ihrer möglichen Lage als freie oder feste Einwirkung definiert und positioniert werden. [23 S. 74 ff.] Abhängig von der Bauweise kann auch der Fortschritt der einzelnen Bauphasen von großer Bedeutung sein. So hat beispielsweise das Eigengewicht sowie die Positionierung des Arbeitsgerätes maßgebenden Einfluss bei Anwendung des Waagebalkenprinzips (siehe Abbildung 10). [45 S. 19]

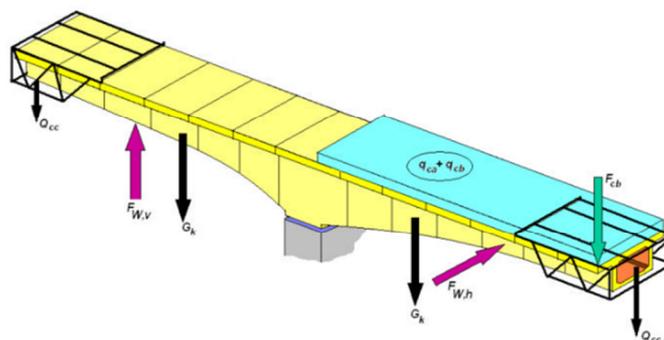


ABBILDUNG 10: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES WAAGEBALLENPRINZIPS [45 S. 19]

### Baugrundbewegungen

Für die Ermittlung von Setzungen sind die Normen ÖNorm EN 1997-1 [46] bzw. Önorm B 1997-1-1 [47] sowie die als Ergänzung gültige ÖNorm B 4431-1 [48] anzuwenden.

Als Erweiterung zur ÖNorm EN 1990 [49] gibt die ÖNorm EN 1992-1-1 [50] in Kapitel 2.3.1.3 an, Setzungs- bzw. Bewegungsunterschiede welche aus Bodensetzungen resultieren, als dauerhafte Einwirkung zu betrachten. Da es sich hierbei um einen Differenzwert handelt, ist die Größe abhängig von einem Referenzwert. Die Setzung dürfen durch wie Wahl angemessener Schätzwerte, wie sie in der Literatur zu finden sind, festgelegt werden. Auswirkungen von Setzungsunterschieden sind für Rahmenbrücken aufgrund der statischen Unbestimmtheit und der daraus resultierenden Zwangskräfte auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu betrachten. [51 S. 210]

## 4 MODELLIERUNG DES SYSTEMS

---

An dieser Stelle wird auf die angewandten statischen Systeme und speziell auf deren Unterschiede eingegangen. Für das statische Modell, welches in Abbildung 11 dargestellt ist, werden durchgehend Flächenelemente (QUADs) verwendet. Eine Modellierung mit Stäben ist nicht zweckmäßig, da die Quertragwirkung der Platte abgebildet werden soll. Die Wahl von Volumenelementen (BRICs) erhöht den Rechenaufwand überproportional ohne dabei die Ergebnisse der Parameterstudie zu verbessern.

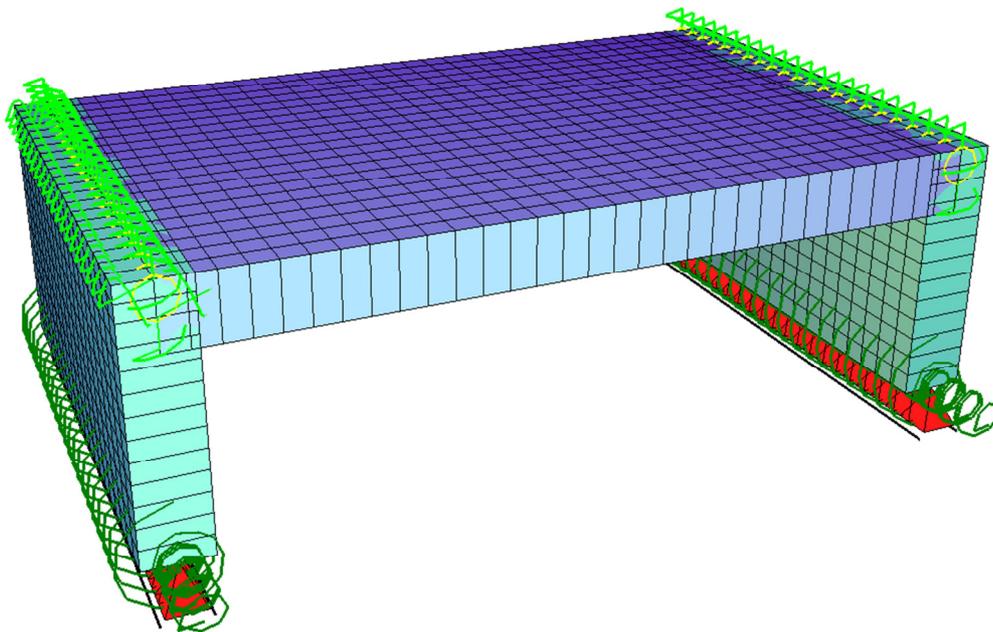


ABBILDUNG 11: MODELL DES STATISCHEN SYSTEMS IN SOFISTIK

Um das System abhängig von den gewünschten Parametern zu generieren, wird hierfür eine Eingabemaske erstellt. Einer der Werte, welche in dieser Eingabemaske festgelegt werden kann, ist die maximale Elementlänge bzw. Elementbreite. Für die Parameterstudie wird eine maximale Elementabmessung von  $0,4 [m]$  verwendet. Somit wird die Fahrbahnplatte, welche eine minimale Länge von  $8 [m]$  aufweist, mit mindestens 20 Elementen in Längsrichtung abgebildet. Für die Widerlagerwand, welche eine maximale Höhe von  $4 [m]$  besitzt, werden mindestens zehn Elemente zur Modellierung verwendet.

Für die einzelnen Bauteile werden die in Tabelle 8 aufgelisteten Betonfestigkeitsklassen verwendet.

TABELLE 8: VERWENDETE BETONFESTIGKEITSKLASSEN

Bauteil	Betonfestigkeitsklasse
Fahrbahnplatte	C25/30
Aufbeton	C30/37 [52]
Widerlagerwand	C20/25

#### 4.1 UNTERSCHIEDUNG DER GRUNDSYSTEME

Für die Berechnungen werden je Variante die vier, in diesem Kapitel beschriebenen, Systeme unterschieden. Diese Systeme dienen dazu, die Einwirkungen gemäß alter und neuer Normen, sowie die Änderung des statischen Systems durch die Integralisierung der Bestandsbrücke abzubilden.

Abbildung 12 dient zur schematischen Darstellung der Integralisierung, durch welche eine Brücke mit gelenkig gelagerter Fahrbahn (links) in eine integrale Brücke mit biegesteifem Rahmeneck (rechts) umgewandelt wird. Hierbei handelt es sich um die in weiterer Folge beschriebenen Bauzustände. Im integralen Zustand wird das vorhandene Lager miteinbetoniert. Die zusätzlich notwendige, obenliegende Bewehrung im Rahmeneck wird abhängig von der Verankerungslänge in der Fahrbahnplatte geführt.

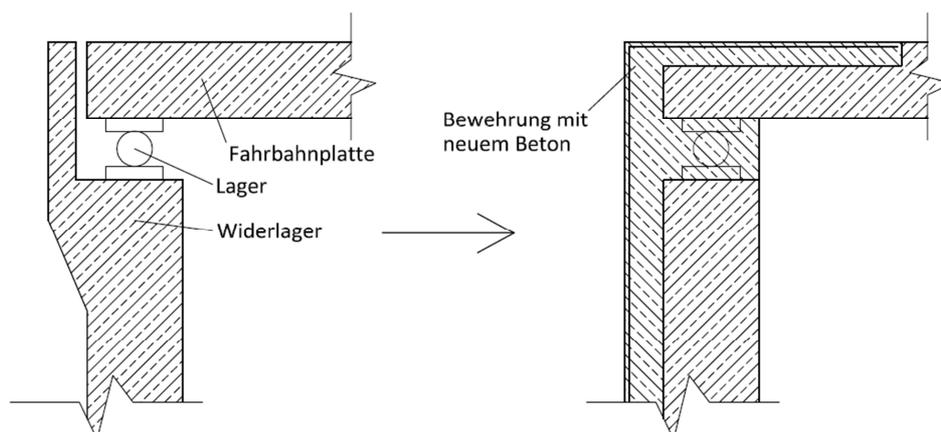


ABBILDUNG 12: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER SYSTEMÄNDERUNG - GELENKIG -> INTEGRAL

### System 1: ÖNorm, gelenkig

Hierbei handelt es sich um das Bestandstragwerk. Dieses Ausgangssystem ist als Einfeldträgersystem zu betrachten auf welchem die Belastungen lt. ÖNorm B 4002 (1970) [16] aufgebracht werden (siehe Kapitel 3). Der Anschluss der Fahrbahn an die Widerlagerwände erfolgt mittels Federn (gelenkig). Es werden die in der Eingabemaske angegebenen Bodenkennwerte für die Ermittlung der Drehfedersteifigkeit im Fußpunkt der Widerlagerwände verwendet.

### System 2: Eurocode, gelenkig

Dieses System ist identisch wie System 1. Die Belastungen werden jedoch gemäß ÖNorm EN 1991-2 (2012-03-01) [21] bzw. ÖNorm B 1991-2 (2011-04-15) [22] angenommen (siehe Kapitel 3). Aus diesen Ergebnissen ist es somit möglich abzuschätzen, ob das bestehende Tragwerk auch unter Eurocode-Lasten als ausreichend tragfähig einzustufen ist bzw. um welchen Prozentsatz die Eurocode-Lasten verringert werden müssten, um eine ausreichende Tragfähigkeit zu gewährleisten ( $\alpha_E$ -Wert).

### System 3a: Eurocode, Rahmen, minimale Bodenkennwerte

Wie in System 2 werden auch hier die Belastungen laut Eurocode [21] [22] angenommen. Der Anschluss der Fahrbahn an die Widerlagerwände erfolgt mittels Federn (gelenkig) bzw. Kopplungen (biegesteifer Rahmen). Das System 1 mit gelenkig gelagerter Fahrbahnplatte kommt bei der Einwirkung aus Eigengewicht zur Anwendung. Hierbei handelt es sich um das Eigengewicht des Tragwerks und eines eventuellen Aufbetons auf der Fahrbahnplatte, wie sie vor Umbau des Systems auftreten. Die Ausbaulasten (Asphalt, Randbalken, Geländer) werden auf das Rahmensystem mit biegesteifen Ecken, welches durch den Umbau entsteht, aufgebracht. Dadurch werden die Bauzustände berücksichtigt. Es werden die in der Eingabemaske angegebenen Bodenkennwerte für die Drehfeder im Fußpunkt der Widerlagerwände verwendet.

### System 3b: Eurocode, Rahmen, maximale Bodenkennwerte

Das System 3b ist identisch wie System 3a hinsichtlich des statischen Systems und der Belastungsannahmen. Lediglich für die Bodenfedern wird als oberer Grenzwert die 5-fache Bodensteifigkeit angesetzt.

Die Unterscheidung in minimale (vom Benutzer angegebene) und maximale (5-facher Wert) Bodenkennwerte lässt eine Betrachtung von zwei Grenzwerten zu. Dies ist notwendig, da es sich speziell bei den Bodenparametern um eine Abschätzung handelt und deren Einfluss auf das Gesamtsystem nicht zu vernachlässigen ist. [53 S. V.1 1]

## 4.2 ÜBERGANG ZWISCHEN FAHRBAHN UND WIDERLAGERWAND

---

Für den Übergang zwischen Fahrbahn und Widerlagerwand werden die zwei nachstehenden Fälle unterschieden.

### Fall 1: Gelenkiger Anschluss

Der Anschluss erfolgt mittels Federn als Linienlager an der auf den Widerlagerwänden aufliegenden Kanten der Fahrbahnplatte. Dabei werden die Federn in z-Richtung als sehr steif modelliert während die Federn in x- und y-Richtung auf einer Seite des Tragwerks als sehr weich und auf der anderen Seite mit einer Steifigkeit von 0  $[kN/m]$  abgebildet werden. Der so entstehende gelenkige Anschluss zwischen Fahrbahn und Widerlagerwand ermöglicht eine zwängungsfreie Lagerung und kommt in den Grundsystemen 1 und 2 für alle Lasten zur Anwendung. In den Systemen 3a und 3b wird nur für das Eigengewicht des Tragwerks (Bauabschnitt 1) ein gelenkiger Anschluss verwendet. Abbildung 13 und Abbildung 14 stellen die Lage der Federn sowie das statische System der Fahrbahnplatte dar.

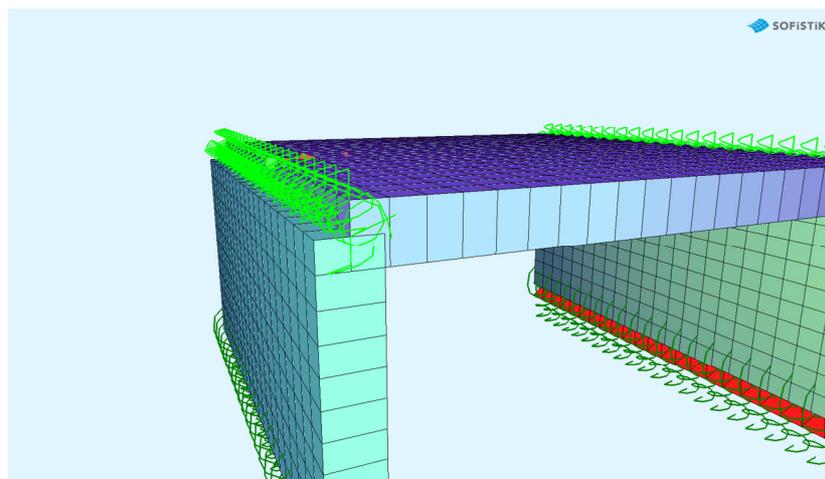


ABBILDUNG 13: GELENKIGE MODELLIERUNG DES ANSCHLUSSES ZWISCHEN FAHRBAHNPLATTE UND WIDERLAGERWAND IN SOFISTIK



ABBILDUNG 14: GELENKIGES SYSTEM - TRAGWEISE DER FAHRBAHNPLATTE

## Fall 2: Biegesteifer Anschluss

Um die Rahmentragwirkung der Brücke im integralen Zustand zu modellieren, kommen Kopplungen zum Einsatz. Die auftretenden Momente können so über die Rahmenecke übertragen werden. Auf die genaue Modellierung der Kopplungen wird in 4.2.1 eingegangen. Dieser Anschluss kommt bei den Grundsystemen 3a und 3b im Bauabschnitt 2 (Endzustand) zum Einsatz. Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen die Lage der Kopplungen sowie das statische System des Gesamttragwerks nach Umbau in ein integrales Brückentragwerk.

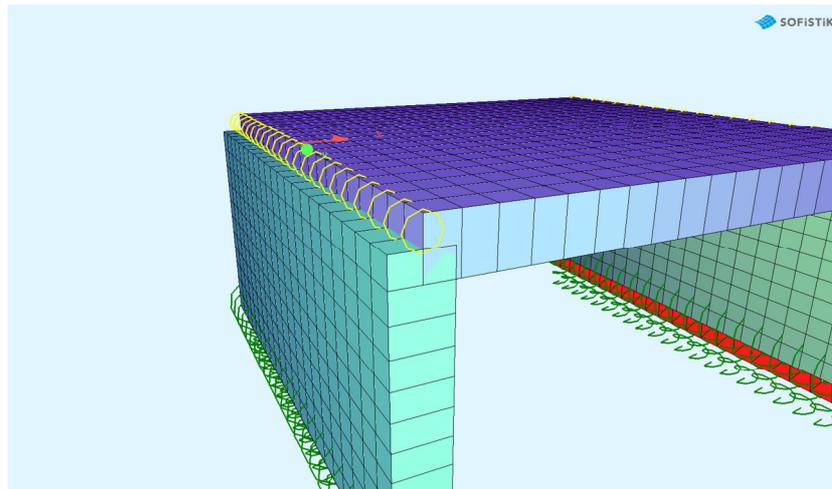


ABBILDUNG 15: BIEGESTEIFE MODELLIERUNG DES ÜBERGANGES ZWISCHEN FAHRBAHNPLATTE UND WIDERLAGERWAND MITTELS KOPPLUNGEN IN SOFISTIK



ABBILDUNG 16: BIEGESTEIFES (RAHMEN-) SYSTEM

#### 4.2.1 KOPPLUNGEN

---

Da die Knotenebene für die Elemente der Fahrbahnplatte oben liegt (siehe Abbildung 19), bedarf es für die Kopplungen einer genaueren Betrachtung. Abbildung 17 zeigt die Lage der Kopplungen zwischen Fahrbahn und Widerlagerwand.

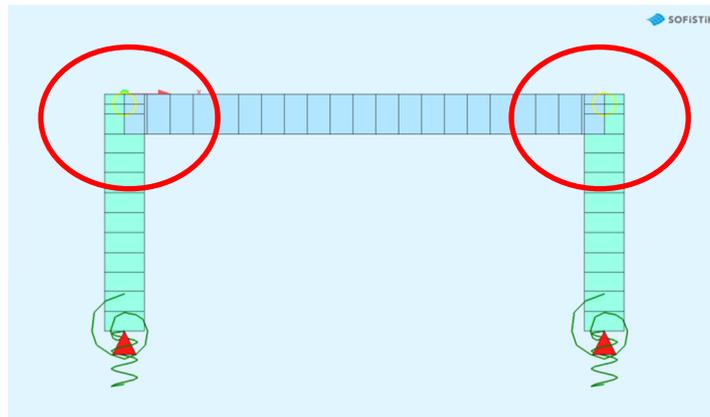


ABBILDUNG 17: LAGE DER KOPPLUNGEN

Für die Lasten aus Erddruck wird die vollständige Widerlagerwand modelliert, um den auftretenden Erddruck über die gesamte Höhe in der Berechnung abbilden zu können. Damit es möglich wird, den Übergang zwischen Fahrbahnplatte und Widerlagerwand gelenkig mit Federn (Grundsysteme 1 und 2) sowie biegesteif mittels Kopplungen (Grundsysteme 3a und 3b) zu modellieren, müssen für beide Bauteile getrennte Knoten vorhanden sein. Wie in Abbildung 18 ersichtlich, wird der obenliegende Eckknoten der Fahrbahn mit der Widerlagerwand in der Höhe der Schwerachse der Fahrbahn mit Federn bzw. Kopplungen verbunden. Dieser Eckknoten der Fahrbahn ist im Abstand von 2 [mm] vom Knoten im Widerlagerwandkopf positioniert. Der Abstand ist größer als die im Programm definierte Toleranz (1 [mm]). Alle Knoten die innerhalb der Toleranzgrenze liegen, werden automatisch zu einem Knoten zusammengefasst. Somit wird durch den Abstand von 2 [mm] dafür gesorgt, dass die beiden Knoten stets als getrennte Knoten vorhanden bleiben (weshalb eine Kopplung bzw. eine Verbindung über Federn möglich ist). Liegen die Knoten innerhalb der Toleranz, kommt es durch das Zusammenfassen der Knoten stets zu einer biegesteifen Verbindung von Fahrbahnplatte und Widerlagerwand. Abbildung 18 stellt die Lage der Kopplung sowie ihre Ausführung dar. Weiters sind die Knoten, welche oben in der Fahrbahnplatte liegen, erkenntlich.

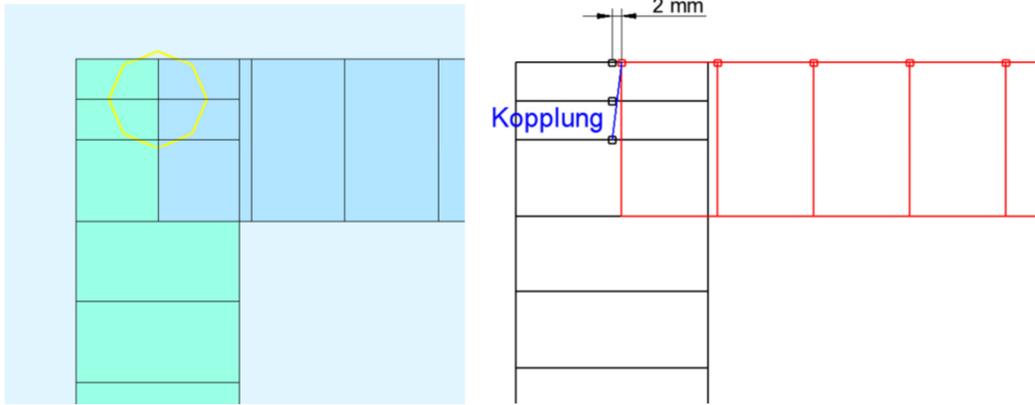


ABBILDUNG 18: DETAILANSICHT DER KOPPLUNG ZWISCHEN FAHRBAHNPLATTE UND WIDERLAGERWAND

### 4.3 ABBILDUNG AUFBETON

Da eine Abbildung eines möglichen Aufbetons angedacht ist, ist es notwendig, die Knotenebene der Fahrbahn oberliegend zu wählen. So können an diese Knoten die Fahrbahnplatte als untenliegende und der Aufbeton als obenliegende Flächenelemente implementiert werden.

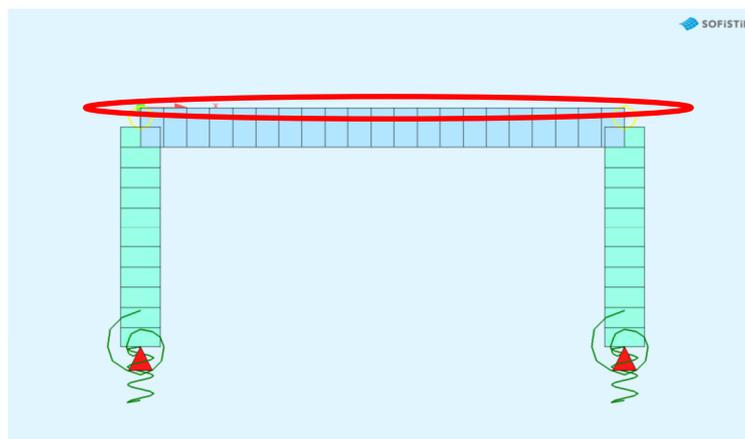


ABBILDUNG 19: LAGE DER KNOTEN IN DER FAHRBAHNPLATTE

## 4.4 MODELLIERUNG BODEN

---

Für die Modellierung des Bodens bei Bestandsbrücken wird in x- und z-Richtung ein festes Auflager angebracht, da die Setzungen als abgeschlossen angenommen und der Boden als ausreichend steif betrachtet werden können. In Richtung der Widerlagerebene (y-Richtung) wird die Lagerung mit Federn modelliert. Dies ist zweckmäßig, um mögliche unrealistische Zwangsspannungsspitzen aus Temperaturlasten in der Widerlagerwand abbauen zu können, welche bei fester Lagerung auftreten können. Da die Bodensteifigkeit einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Systeme 3a und 3b (Rahmensysteme) hat und gleichzeitig mit Ungenauigkeiten behaftet ist, wird der angenommene Wert für die Steifzahl als unterer Grenzwert betrachtet (System 3a) und der 5-fache Wert als oberer Grenzwert (System 3b) angenommen. [53 S. 20]

Die Ermittlung der Drehfederkonstante  $K$  für den Boden wird gemäß Petersen [14 S. 912] durchgeführt. Als Eingangswerte dienen die Steifzahl  $S$  und die Breite  $b$  der Flachgründung. Mittels der Querdehnungszahl  $\mu$  und der Steifzahl  $S$  lässt sich der E-Modul des Bodens errechnen. Der Wert  $i$  (abhängig von  $t$ ,  $b$  und  $\mu$ ) wird mit 4,64 angenommen (siehe Abbildung 20), da bei der Gründung von einem bindigen Boden (und somit von  $\mu = 0,3$ ) und von  $t \geq 3b$  ausgegangen wird. Der Wert  $k$  wird aus dem  $b/a$ -Verhältnis aus den gegebenen Werten linear interpoliert. Aus den ermittelten Werten ergibt sich abhängig von der gewählten Steifzahl eine Drehfederkonstante  $K$ . Anhand eines Berechnungsbeispiels wird die Ermittlung der Federkonstante verdeutlicht.

### Bodenart: Schotter scharfkantig

$$S = 300000 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (\text{Steifzahl})$$

$$\mu = 0,3 \text{ [-]} \quad (\text{Querdehnungszahl})$$

### Abmessungen Fundament: (siehe Abbildung 20)

$$b = 3 \text{ [m]} \quad (\text{Fundamentbreite})$$

$$a = 8 \text{ [m]} \quad (\text{Fundamentlänge})$$

### Elastizitätsmodul:

$$E = \frac{1-\mu-2\mu^2}{1-\mu} \cdot S = \frac{1-0,3-2 \cdot 0,3^2}{1-0,3} \cdot 300000 = 222857 \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$$

### Drehfederkonstante:

$$K = a \cdot b^2 \cdot \frac{E}{i \cdot k}$$

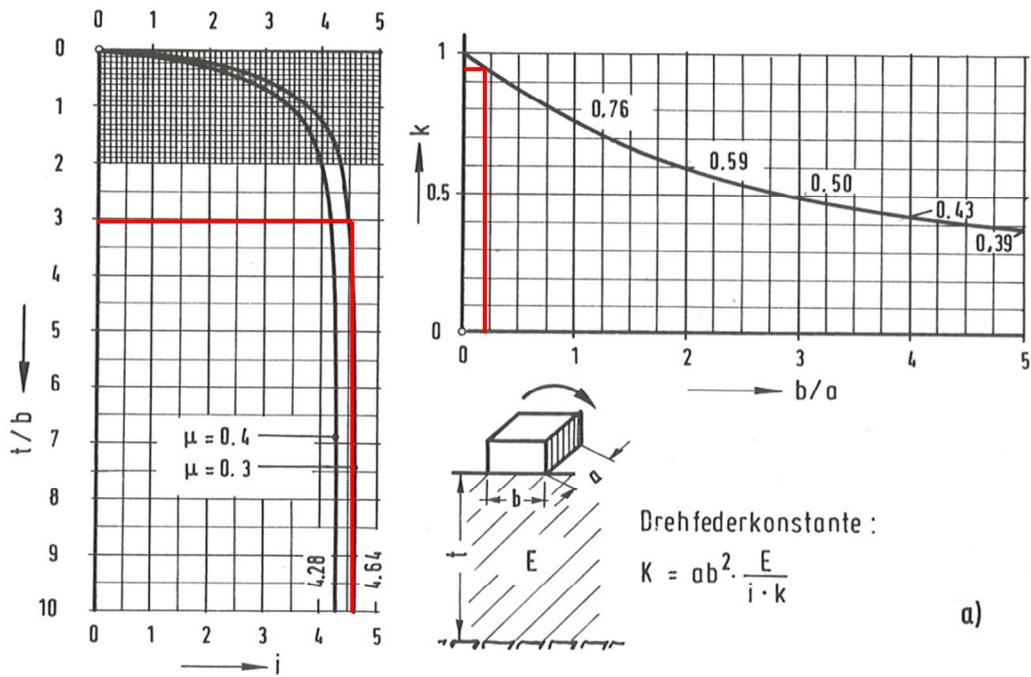


ABBILDUNG 20: ERMITTLUNG DREHFEDERSTEIFIGKEIT LT. PETERSEN [14 S. 912]

Annahme:  $t/b \geq 3 \rightarrow i = 4,64$

$b/a = 3/8 = 0,375 \rightarrow k = 0,91$  (linear interpoliert)

$$K = 8 \cdot 3^2 \cdot \frac{222857}{4,64 \cdot 0,91} = 3800140,8 \text{ [kNm]} \hat{=} 475017,6 \text{ [kNm/lfm]}$$

Dieser Wert wird in weiterer Folge für die Berechnung in SOFiSTiK verwendet.

## 5 BELASTUNGSANNAHMEN UND LASTFALLKOMBINATIONEN

---

Im Folgenden wird auf die unterschiedlichen Belastungen, welche auf die Systeme aufgebracht werden, näher eingegangen. Dabei handelt es sich vielmehr um eine Zusammenstellung als um eine genaue Beschreibung der Ermittlung der einzelnen Lasten. Diese findet sich in Kapitel 3.

### 5.1 ZUSAMMENSTELLUNG DER LASTEN (LASTFALLNUMMERN)

---

Um eine Übersicht zu bieten, werden an dieser Stelle die vorkommenden Lastfälle mit ihrer Nummer und einer kurzen Beschreibung gegliedert nach angewandter Norm angeführt.

#### 5.1.1 LASTFÄLLE FÜR SYSTEME LAUT ÖNORM

---

In Tabelle 9 sind die Lastfälle gemäß ÖNorm, wie sie in den Berechnungen vorkommen, aufgelistet.

TABELLE 9: LASTFÄLLE FÜR SYSTEME LAUT ÖNORM

Lastfallnummer	Beschreibung
Ständige Lasten	
1001	Eigengewicht des Tragwerks
1002	Eigengewicht Randbalken, Geländer
1003	Ausbaulast
Temperaturlasten	
1201, 1202	Temperaturlasten (gleichmäßige Ausdehnung/Verkürzung)
Verkehrslasten	
1501-1503	Flächenlast Verkehr, Flächenlast Randstreifen links/rechts
2001+, 2101+, ...	Verkehrslasten Variante 1
4001+, 4101+, ...	Verkehrslasten Variante 2
6001+, 6101+, ...	Verkehrslasten Variante 3
10001+	Verkehrslasten Variante Sonderfahrzeug

14998, 14999	Belasteter Randstreifen links/rechts
Erddruck	
1101, 1102	Erddruck – ständiger Anteil links/rechts
1103, 1104	Erddruck – veränderlicher Anteil links/rechts
1111-1114	Erddruck aus Verkehr (Flächenlast bzw. Achslasten) links/rechts
1115, 1116	Erddruck aus Sonderfahrzeug links/rechts

### 5.1.2 LASTFÄLLE FÜR SYSTEME LAUT EUROCODE

Tabelle 10 bietet eine Übersicht über die auf das System aufgebrauchten Lastfälle gemäß Eurocode.

TABELLE 10: LASTFÄLLE FÜR SYSTEME LAUT EUROCODE

Lastfallnummer	Beschreibung
Ständige Lasten	
1001	Eigengewicht des Tragwerks
1002	Eigengewicht Randbalken, Geländer
1003	Ausbauast
Temperaturlasten	
1201, 1202	Temperaturlasten (gleichmäßige Ausdehnung/Verkürzung)
1203, 1204	Temperaturlasten (veränderliche Last über Querschnitt)
1205-1208	Vorgeschriebene Kombinationen für Temperaturlasten
Verkehrslasten	
1501+, 1601+, 1701+, 1801+	Flächenlasten aus Verkehr für die einzelnen Varianten
2101+, 2201+, 2301+	Verkehrslasten Variante 1
4101+, 4201+, 4301+	Verkehrslasten Variante 2
6101+, 6201+, 6301+	Verkehrslasten Variante 3
8101+, 8201+, 8301+	Verkehrslasten Variante 4
10001+	Verkehrslasten Variante Sonderfahrzeug

14998, 14999	Belasteter Randstreifen links/rechts
Erddruck	
1101, 1102	Erddruck – ständiger Anteil links/rechts
1103, 1104	Erddruck – veränderlicher Anteil links/rechts
1111-1114	Erddruck aus Verkehr (Flächenlast bzw. Achslasten) links/rechts
1115, 1116	Erddruck aus Sonderfahrzeug links/rechts

## 5.2 STÄNDIGE LASTEN

---

Für die ständigen Lasten erfolgt keine Unterscheidung zwischen ÖNorm und Eurocode. Die für die Ermittlung der ständig wirkenden Lasten zufolge Eigengewichts beruhen auf ÖNorm EN 1991-1-1 (2) [17] bzw. ÖNorm B 1991-1-1 [18] und auf ÖNorm B 4002 (2.1) [16].

Die ständigen Lasten bestehen einerseits aus dem Eigengewicht des Tragwerks, welches automatisch vom Programm über das Volumen der einzelnen Bauteile und das jeweilige Material ermittelt wird (Lastfall 1001). Eine Auskragung des Querschnittes wird mittels einer Linienlast sowie mit einem Linienmoment auf beiden Längsseiten des Tragwerks berücksichtigt. Weiters ist das Eigengewicht des Randbalkens und eines Geländers (Lastfall 1002) und der Ausbaulast (Lastfall 1003) zu berücksichtigen. Das Eigengewicht des Randbalkens wird vereinfacht als Linienlast/-moment auf den Längsseiten des Tragwerks angebracht. Die Ausbaulast wird als Flächenlast mit einem Wert von  $2,40 [kN/m^2]$  für das Bestandstragwerk und mit  $2,90 [kN/m^2]$  für das integralisierte Tragwerk auf das System aufgebracht. Die Ermittlung dieser Werte wird im Folgenden vorgenommen. Abbildung 21 zeigt einen Fahrbahnquerschnitt sowie die Umrechnung der Randbalkenlast in eine Linienlast und in ein Linienmoment.

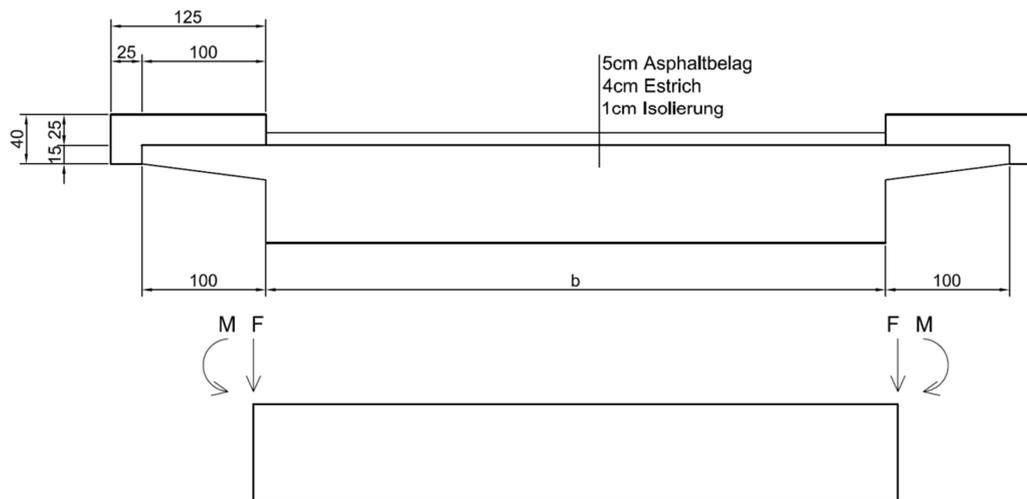


ABBILDUNG 21: FAHRBAHNQUERSCHNITT - LAST AUS RANDBALKEN

Lastfall 1002 – Randbalken

$$F = 25 \cdot (1,0 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot 0,40) = 8,75 \text{ [kN/lfm]}$$

$$M = 25 \cdot (1,0 \cdot 0,25 \cdot 1,0/2 + 0,25 \cdot 0,40 \cdot (1 + 0,25/2)) = 5,94 \text{ [kNm/lfm]}$$

Lastfall 1003 - Ausbaulast:

Die folgende Ausbaulast wird für das Bestandstragwerk angenommen:

3 [cm]	Deckschicht	0,03 [m] · 24 [kN/m <sup>3</sup> ]	=	0,72 [kN/m <sup>2</sup> ]
6 [cm]	Tragschicht	0,06 [m] · 24 [kN/m <sup>3</sup> ]	=	1,44 [kN/m <sup>2</sup> ]
1 [cm]	Schutzschicht	0,01 [m] · 24 [kN/m <sup>3</sup> ]	=	0,24 [kN/m <sup>2</sup> ]
				<b>2,40 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

Für die integralen Systeme wird die Ausbaulast gemäß RVS 15.03.15 [54] angenommen und ergibt sich zu:

3 [cm]	Deckschicht	0,03 [m] · 24 [kN/m <sup>3</sup> ]	=	0,72 [kN/m <sup>2</sup> ]
8 [cm]	Tragschicht	0,08 [m] · 24 [kN/m <sup>3</sup> ]	=	1,92 [kN/m <sup>2</sup> ]
1 [cm]	Schutzschicht	0,01 [m] · 24 [kN/m <sup>3</sup> ]	=	0,24 [kN/m <sup>2</sup> ]
				<b>~2,90 [kN/m<sup>2</sup>]</b>

## 5.3 TEMPERATURLASTEN

---

Für beide Normen werden die Schnittgrößen auf ULS-Niveau ermittelt. Hier befindet sich der Querschnitt im gerissenen Zustand und weist somit eine erheblich geringere Steifigkeit auf. Da die Temperaturlasten speziell am biegesteifen Rahmensystem einen sehr großen Einfluss auf die Schnittgrößen haben, ist es zweckmäßig, diese Tragwerkssteifigkeiten um ein realistisches Maß zu reduzieren. Als ein in der Praxis üblicher Wert wird eine Reduktion der Steifigkeit auf 60 % gewählt. Da die gesamte Berechnung auf linear-elastischem Materialgesetz beruht, kann alternativ die auftretende Temperaturlast mit dem Faktor 0,6 multipliziert werden. Die im Folgenden angegebenen Werte enthalten diese Verringerung der Einwirkung noch nicht.

### 5.3.1 NACH ÖNORM EN 1991-1-5 (2012-01-01) BZW. ÖNORM B 1991-1-5 (2012-01-01)

---

Die Temperaturlasten werden gemäß ÖNorm EN 1991-1-5 [28] bzw. ÖNorm B 1991-1-5 [29] auf das Tragwerk aufgebracht. Für den Eingangswert der Seehöhe wird der Mittelwert aller in der Norm vorkommenden Seehöhen in Österreich (394 [m]) herangezogen. Hierfür ergeben sich die Werte zu:

#### Fahrbahnplatte:

$\Delta T_{N,con,Platte} = -34,0 [^{\circ}C]$	maximale negative Änderung Platte (Verkürzung)
$\Delta T_{N,exp,Platte} = 28,0 [^{\circ}C]$	maximale positive Änderung Platte (Ausdehnung)
$\Delta T_{M,heat,Platte} = 15,0 [^{\circ}C]$	max. $\Delta T$ infolge Erwärmung (oben wärmer)
$\Delta T_{M,cool,Platte} = 5,0 [^{\circ}C]$	max. $\Delta T$ infolge Abkühlung (unten wärmer)

Für die Temperaturlast in der Widerlagerwand wird eine Differenz zur Temperatur der Fahrbahnplatte von 10 [°C] unterstellt. [29] (6.1.6) Diese wird stets gleichzeitig mit der gleichmäßigen Temperaturlast in der Fahrbahnplatte angenommen. Dabei wird entweder Ausdehnung (exp) bzw. Verkürzung (con) in beiden Bauteilen zusammen betrachtet. Eine Kombination von Ausdehnung in einem und Verkürzung im Bauteil ist nicht vorgesehen.

#### Widerlagerwand:

$\Delta T_{N,con,WL} = -24,0 [^{\circ}C]$	maximale negative Änderung Widerlager (Verkürzung)
$\Delta T_{N,exp,WL} = 18,0 [^{\circ}C]$	maximale positive Änderung Widerlager (Ausdehnung)

Durch die vier folgenden vorgeschriebenen Kombinationsmöglichkeiten gemäß ÖNorm EN 1991-1-5 (6.1.5) [28] ergeben sich in Summe acht Temperaturlastfälle aus welchen stets der ungünstigste Fall zur Berechnung herangezogen wird (LF 1201 – LF 1208).

$$\begin{array}{ll} \Delta T_{M,heat} + 0,35 \cdot \Delta T_{N,exp} & 0,75 \cdot \Delta T_{M,heat} + \Delta T_{N,exp} \\ \Delta T_{M,cool} + 0,35 \cdot \Delta T_{N,con} & 0,75 \cdot \Delta T_{M,cool} + \Delta T_{N,con} \end{array}$$

### 5.3.2 NACH ÖNORM B 4200 TEIL 4 (1984-08-01)

---

Die Temperaturlasten werden gemäß ÖNorm B 4200 Teil 4 (5.2(1)) [30] auf die Fahrbahnplatte aufgebracht. Es sind hierfür gleichmäßige Temperaturänderungen von  $\pm 20$  [°C] anzunehmen (Lastfall 1201 bzw. 1202).

## 5.4 ERDDRUCK

---

Nach ausgiebiger Recherche und diverser Vergleichsrechnungen verschiedener internationaler Normen (ÖNorm, Eurocode, DIN, British Standard, ZTV-ING, RVS – siehe auch Kapitel 3.4) ergeben sich die in diesem Kapitel dargestellten Lasten infolge von Erddruck. Als Bodenkennwerte eine Wichte von  $\gamma = 20$  [kN/m<sup>3</sup>] und ein Reibungswinkel von  $\varphi = 30$  [°] verwendet.

### 5.4.1 BESTANDSTRAGWERKE

---

Grundsätzlich wird in Erddrücke, die vom Verkehr unabhängig auftreten und Erddrücke die aufgrund der Verkehrslast entstehen, unterschieden.

#### 5.4.1.1 ERDDRUCK UNABHÄNGIG VOM VERKEHR

Die Erddrucklasten, welche unabhängig vom Verkehr auftreten, werden, um die Lastfallkombinationen zu erleichtern, in einen ständigen und einen veränderlichen Teil gegliedert (siehe 5.6). Abbildung 22 stellt diese Lasten dar. Anzumerken gilt, dass der ständige Anteil stets auf beiden Seiten des Tragwerks wirkt. Die Einwirkung je Seite wird in einem getrennten Lastfall gespeichert. Die veränderliche Einwirkung kann jedoch auch nur einseitig auftreten und ist bereits um den Anteil des ständig wirkenden Erddrucks abgemindert.



ABBILDUNG 22: EINWIRKUNGEN INFOLGE ERDDRUCK OHNE VERKEHR

Für Bestandstragwerke (gelenkig gelagerte Fahrbahnplatte) wird der Erddruck gemäß DIN 4085 [32] angesetzt (siehe 3.4.2). Als ständig wirkend angenommen wird der aktive Erddruck  $e_a$  für die Berechnung herangezogen. Der veränderliche Anteil ergibt sich aus dem halben Erdrudruck  $e_0$  zuzüglich des halben aktiven Erddrucks  $e_a$  (siehe Tabelle 5, Zeile 3). Die Wahl dieses Ansatzes beruht auf der Annahme, dass die Baugrundsetzungen bereits vollständig abgeschlossen sind und so ein annähernd unnachgiebiges System vorausgesetzt werden kann.

$$e_{\text{ständig}} = e_a$$

$$e_{\text{veränderlich}} = (0,5 \cdot e_0 + 0,5 \cdot e_a) - e_{\text{ständig}} = 0,5 \cdot e_0 - 0,5 \cdot e_a$$

#### 5.4.1.2 ERDDRUCK AUS VERKEHRSLAST

Die Erddrücke, die sich aus den Verkehrslasten ergeben, sind in Einwirkungen aus Flächenlast und Einwirkungen aus Achslasten zu gliedern. Da die Verkehrslasten über die Breite der Fahrbahn unterschiedlich sind (verschiedene Achslasten bzw. Flächenlasten lt. Eurocode), muss dies bei der Berechnung beachtet werden. Es wird hierfür jeweils die resultierende Erddruckkraft ermittelt und über die gesamte Breite der Widerlagerwand verteilt. Zu beachten gilt weiters, dass Erddrücke zufolge von Flächenlasten aufgrund ihrer theoretisch unendlichen Wirkungslänge über die gesamte Höhe der Widerlagerwand anzubringen sind. Auch können sie aufgrund dieser Tatsache gleichzeitig auf beiden Seiten wirken. Die Erddrücke, welche aus einer Auflast durch eine Achslast (reguläres Fahrzeug bzw. Sonderfahrzeug) entstehen, können jedoch nur einseitig auftreten, da sich das Fahrzeug entweder am linken oder am rechten Rand des Bauwerks befindet. Die Höhe über welche der Erddruck aus einer Achslast wirkt, ist abhängig von der Länge des Fahrzeuges sowie vom Gleitflächenwinkel  $\vartheta$  des Untergrundes und kann auch die gesamte Höhe der Widerlagerwand einnehmen (zB bei Sonderfahrzeug laut Lastmodell 3 gemäß Eurocode). Für Systeme die mit Eurocodelasten berechnet werden, wird eine Fahrzeuglänge von 5 [m] angenommen und die Achslasten werden mit dem Faktor 0,8 abgemindert. [22 S. 10] Abbildung 23 zeigt die Einwirkungen auf das Tragwerk aus den Verkehrslasten.

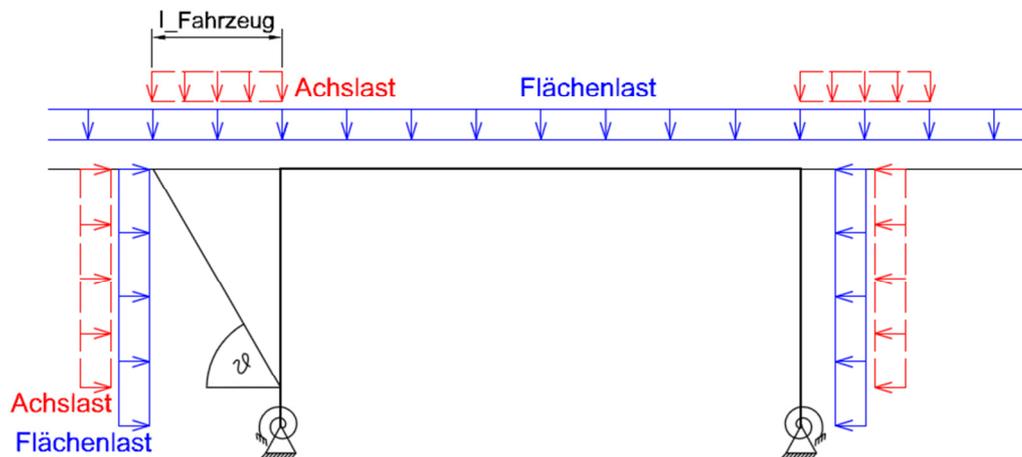


ABBILDUNG 23: EINWIRKUNGEN INFOLGE ERDDRUCK AUS VERKEHRSLASTEN

## 5.4.2 INTEGRALISIERTE SYSTEME

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Erddrücke auf die integralisierten Systeme erfolgt analog zu 5.4.1. An dieser Stelle wird auf die Unterschiede eingegangen.

### 5.4.2.1 ERDDRUCK UNABHÄNGIG VOM VERKEHR

Für die Systeme welche als Rahmen wirken, wird der Erddruck laut ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 2 [33] herangezogen (siehe 3.4.3). Der aktive Erddruck wird mit einer Größe von  $0,5 \cdot e_a$  als ständig wirkend angenommen. Der veränderlich wirkende Teil ergibt sich aus  $e_0 - 0,5 \cdot e_a$ . Die Laststellung erfolgt analog zu Kapitel 5.4.1.1, sowie Abbildung 22.

$$e_{\text{ständig}} = 0,5 \cdot e_a$$

$$e_{\text{veränderlich}} = e_0 - e_{\text{ständig}} = e_0 - 0,5 \cdot e_a$$

### 5.4.2.2 ERDDRUCK AUS VERKEHRSLAST

Die Erddruckermittlung wird analog zu 5.4.1.2 durchgeführt.

## 5.5 VERKEHRSLASTEN

---

Die auftretenden Verkehrslasten sind für Eurocode und ÖNorm in Flächenlasten und Achslasten zu unterteilen. Die hierfür zugrunde liegenden Normen sind ÖNorm EN 1991-2 [21] bzw. ÖNorm B 1991-2 [22] und ÖNorm B 4002 (2.2) [16]. Wie diese Aufteilung im Detail für den Umfang der Parameterstudie vorgenommen wird, erläutern die folgenden Kapitel. Eine allgemeine Beschreibung zu den Verkehrslasten befindet sich in Kapitel 3.2.

Für beide Normen werden die Verkehrslasten als Flächenlasten, abhängig von der normativen Radaufstandsfläche, auf das System aufgebracht. Dabei wird die lastverteilende Wirkung in der Platte bis auf die Querschnittsmitte berücksichtigt (Abbildung 24). Sollte sich daraus eine neue Einwirkungsfläche ergeben, welche über die jeweilige Fahrspur hinausreicht, wird diese jedoch mit der Fahrspurbreite begrenzt.

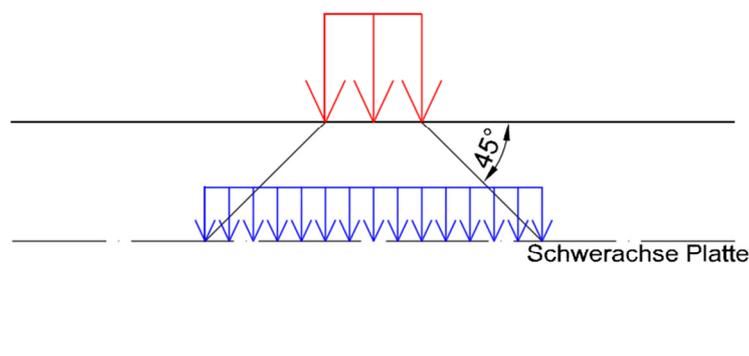


ABBILDUNG 24: LASTAUSBREITUNG DER ACHSLASTEN

### 5.5.1 NACH ÖNORM EN 1991-2 (2012-03-01) BZW. ÖNORM B 1991-2 (2011-04-15)

---

Für die Abbildung der Verkehrslasten laut Eurocode werden das Lastmodell 1 (LM1) und das Lastmodell 3 (LM3) herangezogen.

#### Lastmodell 1:

Für das Lastmodell 1, welches aus einer Flächenlast (UDL) und einer Last aufgrund einer Tandemachse (TS) besteht, wird die Fahrbahn in einzelne Fahrstreifen unterteilt. Diese sind für die Berechnung stets ungünstig zu positionieren. Es werden vier verschiedene Unterteilungen (Varianten) der Fahrbahn in Fahrspuren vorgenommen, um den Rechenaufwand zu reduzieren. Die Lage der einzelnen Spuren hat zwar bei einer geraden Brücke auf die resultierenden Schnittgrößen über die gesamte Breite keinen Einfluss, jedoch hat bei einer schiefwinkligen Brücke dies einen großen Einfluss, weshalb die unterschiedlichen Varianten implementiert sind. Die folgenden Abbildungen stellen die vier Varianten dar. Die einzelnen Fahrspuren sind dabei mit eingekreisten Nummern versehen. Der Buchstabe ‚R‘ steht hierbei für die Restfläche.

Variante 1 und Variante 2 (Abbildung 25) positionieren die maßgebende Spur 1 jeweils am Längsrand des Tragwerks.

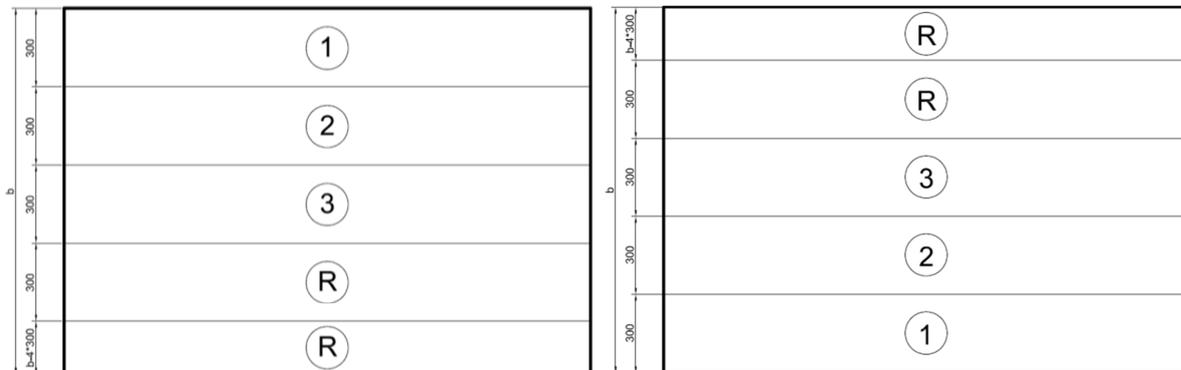


ABBILDUNG 25: SPUREN FÜR VERKEHRSLASTEN LT. EUROCODE - VARIANTE 1 (LINKS) UND VARIANTE 2 (RECHTS)

In Variante 3 und Variante 4 (Abbildung 26) befindet sich diese jedoch in der Mitte. Hier wird lediglich die Position der folgenden Spuren 2 und 3 verändert.

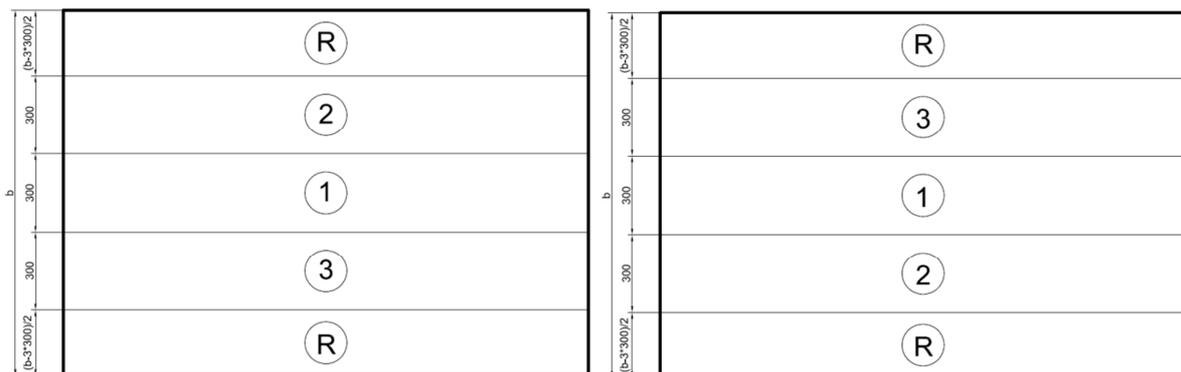


ABBILDUNG 26: SPUREN FÜR VERKEHRSLASTEN LT. EUROCODE - VARIANTE 3 (LINKS) UND VARIANTE 4 (RECHTS)

Auf die somit generierten Fahrspuren, werden nun die vorgeschriebenen Flächenlasten sowie die Achslasten der Fahrzeuge aufgebracht. Bei den Achslasten handelt es sich um eine Wanderlast. Die Anzahl der Laststellungen, und somit der Abstand zwischen diesen, ist vom Benutzer selbst definierbar. Zusätzlich werden für jedes Fahrzeug auf jeder Spur 5 konkrete Laststellungen vorgegeben (siehe Abbildung 27). Für zwei Laststellungen werden einmal die Vorder- und einmal die Hinterachse direkt am Auflager positioniert (blau). Dabei befindet sich die andere Achse immer am Tragwerk. Die zwei rot gekennzeichneten Lasten befinden sich im Abstand  $d = h_{\text{Fahrbahnquerschnitt}} - 0,05$  [m] vom Widerlager entfernt. Die 5. Laststellung nimmt die schwerere der beiden Achsen genau in Feldmitte an (grün). Durch diese Positionierungen werden in weiterer Folge für die definierten Schnitte die maßgebenden Ergebnisse erlangt. Abbildung 27 zeigt die Positionierung der Tandemachsen beispielhaft an einer Fahrspur.

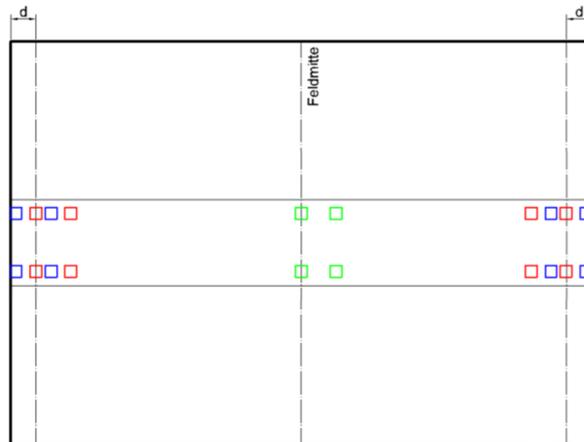


ABBILDUNG 27: BEISPIELHAFTE POSITIONIERUNG TANDEMSYSTEM LT. EUROCODE

Die Lastfälle 14998 und 14999 decken die mit Fußgängern ( $2,5 [kN/m^2]$ ) belastet anzunehmenden Gehsteige mit ab.

### Lastmodell 3:

Für das Lastmodell 3 wird gemäß [21] bzw. [22] das Sonderfahrzeug mit einem Gesamtgewicht von  $3000 [kN]$  (15 Achsen mit je  $200 [kN]$ ) gewählt. Es wird angenommen, dass dieses das Tragwerk im Alleingang in Brückenmitte überquert. Auch hier kann die Anzahl der Laststellungen gewählt werden und wie bei Lastmodell 1 wird auch je eine Laststellung im Abstand  $d$  von den Widerlagern entfernt und in Feldmitte gewählt.

### 5.5.2 NACH ÖNORM B 4002 (1970-12-01)

Die Implementierung der Lasten nach ÖNorm umfasst die Abbildung des Regelverkehrs ( $25 [to]$  LKWs bzw.  $16 [to]$  LKWs) sowie eines Raupenfahrzeuges unter der Berücksichtigung des dynamischen Beiwertes  $\varphi$  (siehe 3.2.2). [16]

### Regelverkehr:

Analog zu 5.5.1 werden auch hier verschiedene Varianten der Fahrspurpositionierung erstellt und untersucht. Es ergeben sich folgende drei Varianten. Zu beachten gilt, dass laut Önorm B 4002 (1970) (2.2.3.1) [16] zwei benachbarte Fahrspuren (hier 1 und 2) jeweils mit dem  $25 [to]$  schweren Fahrzeug und alle übrigen Fahrspuren mit dem  $16 [to]$  schweren Fahrzeug belastet werden. Die Flächenlast ist für alle Fahrspuren gleich groß und wird analog zur Vorgehensweise lt. Eurocodesystem für jede Spur in einem getrennten Lastfall aufgebracht. Variante 1 und Variante 2 (Abbildung 28) positionieren die maßgebenden zwei Fahrspuren jeweils am Rand der Fahrbahnplatte.

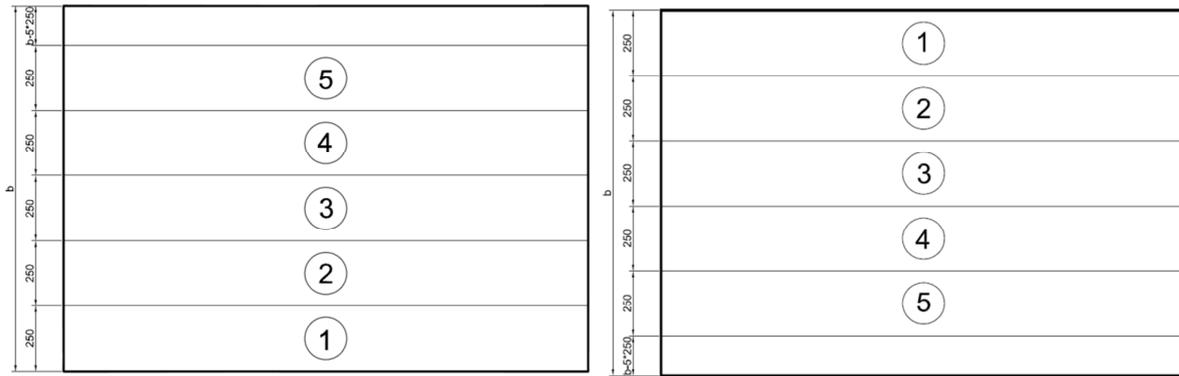


ABBILDUNG 28: SPUREN FÜR VERKEHRSLASTEN LT. ÖNORM – VARIANTE 1 (LINKS) UND VARIANTE 2 (RECHTS)

In Variante 3 (Abbildung 29) werden die maßgebenden Fahrspuren links und rechts von der Fahrbahnachse angenommen.

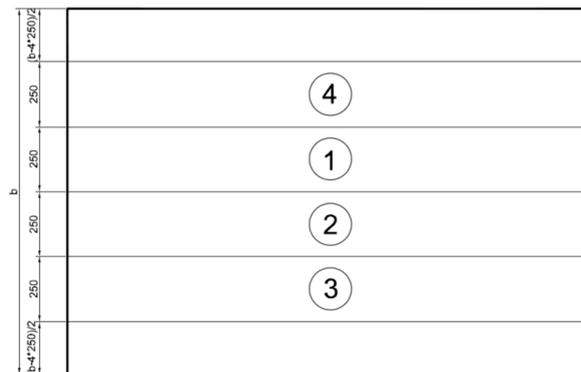


ABBILDUNG 29: SPUREN FÜR VERKEHRSLASTEN LT. ÖNORM – VARIANTE 3

Die Laststellung der Fahrzeuge in Längsrichtung erfolgt analog zu 5.5.1 und kann ebenfalls Abbildung 27 entnommen werden. Es ändern sich lediglich die Radaufstandsflächen sowie die Lastgrößen.

Da im Bereich der Fahrzeuge die gleichmäßige Flächenlast nicht anzusetzen ist, diese jedoch in einem eigenständigen Lastfall über die gesamte Fahrbahn aufgebracht wird, muss sie in diesem Bereich wieder aufgehoben werden. Dies erfolgt gleichzeitig mit dem Lastfall des Fahrzeuges in Form einer negativ wirkenden Flächenlast und ist in Abbildung 30 dargestellt.

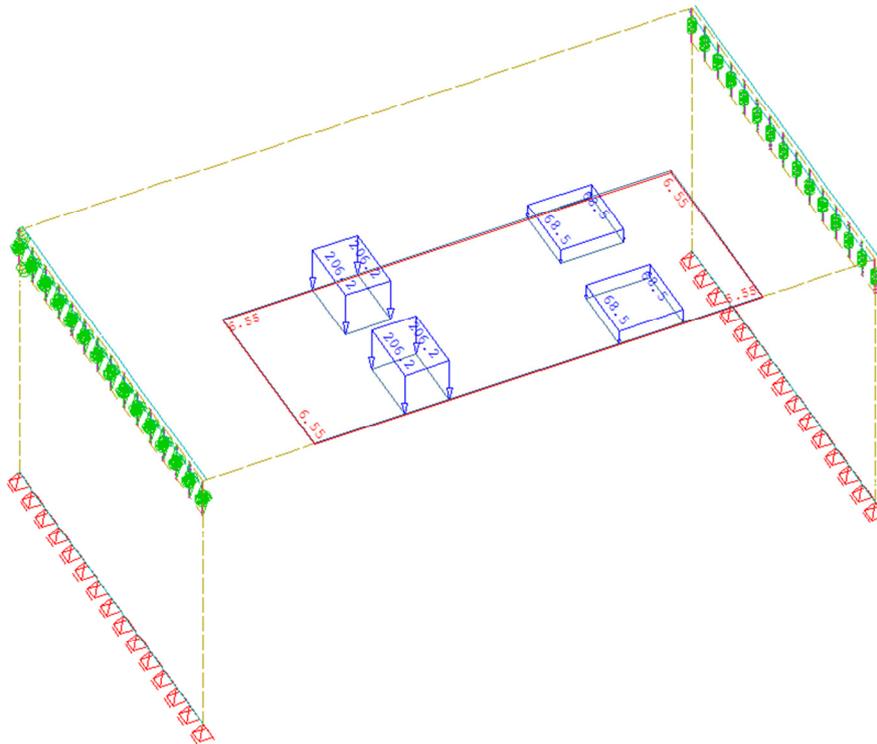


ABBILDUNG 30: NEGATIVE FLÄCHENLAST IM BEREICH DES FAHRZEUGES

#### Sonderfahrzeug:

Die Lastfälle 14998 und 14999 decken die als belastet anzunehmenden Gehsteige in Kombination mit dem Raupenfahrzeug ab. Die Laststellungen in Querrichtung werden gemäß ÖNorm B 4002 (1970) gewählt. [16]

## 5.6 LASTFALLKOMBINATIONEN

---

Bevor die Lastfallkombinationen erstellt werden können, werden die resultierenden Schnittkräfte in den maßgebenden Schnitten (siehe 5.7) für jeden Lastfall ermittelt. Somit ist es möglich, für jeden Schnitt die Schnittgrößen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit zu erhalten. Im Folgenden wird auf die vorgenommenen Lastfallkombinationen eingegangen. Dies soll in erster Linie dazu dienen, einen nachvollziehbaren Überblick über die angewandte Denkweise zu bieten.

### 5.6.1 NACH ÖNORM EN 1990 (2003-03-01) BZW. ÖNORM EN 1990:2002/A1:2005

Die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte bzw. Kombinationsbeiwerte stammen aus Önorm EN 1990 [49] bzw. ÖNorm EN 1990:2002/A1:2005 Tabelle A.2.1 bzw. Tabelle A.2.4(B) [55].

TABELLE 11: TEILSICHERHEITS- UND KOMBINATIONSBEIWERTE FÜR SYSTEME LT. EUROCODE [55]

Lastart	$\gamma_{sup}$	$\gamma_{inf}$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	Bezeichnung
G	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	Ständige Last
T	1,50	0,00	0,60	0,60	0,50	Temperatur
L_U	1,35	0,00	0,40	0,40	0,00	Verkehr UDL
L_T	1,35	0,00	0,75	0,75	0,00	Verkehr TS
L_S	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	Verkehr LM 3
R_S	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	Erddruck ständiger Anteil
R_V	1,35	0,00	1,00	1,00	1,00	Erddruck veränderlicher Anteil
R_U	1,50	0,00	0,40	0,40	0,00	Erddruck aus UDL
R_T	1,50	0,00	0,75	0,75	0,00	Erddruck aus TS

Da es sich um ein Brückentragwerk handelt, wird für die Teilsicherheitsbeiwerte aus veränderlicher Verkehrslast der Faktor 1,35 anstatt der sonst im Hochbau üblichen 1,50 verwendet [55 S. 16]. Abbildung 31 bietet einen Überblick über die Vorgehensweise zur Bildung der Lastfallkombination gemäß Eurocode.

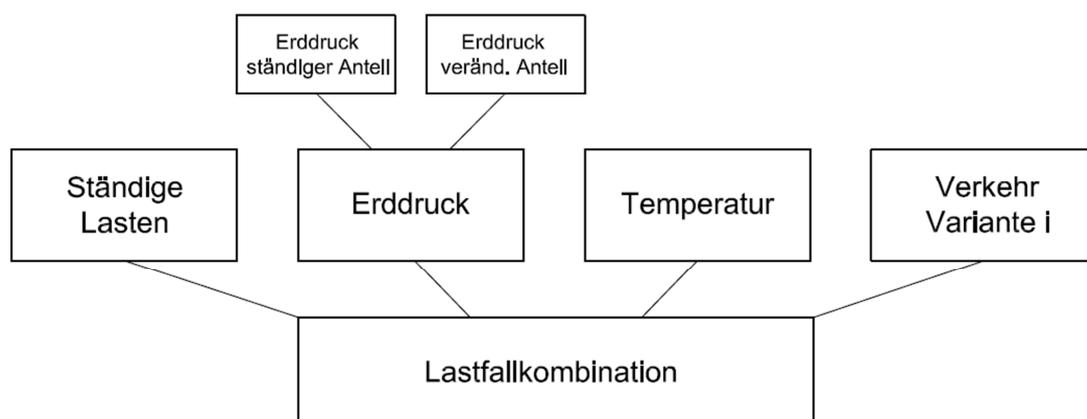


ABBILDUNG 31: ÜBERSICHT ÜBER LASTFALLKOMBINATIONEN

Die ständigen Lasten (siehe 5.2) werden der Lastfallart „G“ zugeordnet. Somit erhalten sie als ständige Lasten einen Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma = 1,35$  bzw.  $\gamma = 1,00$ . Der aufgebrachte Erddruck (siehe 5.4), welcher unabhängig von den Verkehrslasten auftritt, wird der Lastfallart „R\_S“ (ständiger Anteil) bzw. „R\_V“ (veränderlicher Anteil) zugeordnet. Somit ist eine günstige Wirkung des veränderlichen Anteils ausgeschlossen und wird vom Programm in der Kombination nicht berücksichtigt. Die acht möglichen Temperaturlastfälle gehören der Lastart „T“ an und schließen einander gegenseitig aus. Dies bedeutet, dass nur der ungünstigste Lastfall zur jeweiligen Kombination herangezogen wird. Wie bereits unter 5.5 erwähnt, kommen mehrere Varianten für die Ermittlung der maximalen Einwirkung aus Verkehr zur Anwendung, welche in der folgenden Tabelle beschrieben werden.

TABELLE 12: VARIANTENÜBERSICHT DER VERKEHRLASTEN LT. EUROCODE

Variante	Beschreibung
1	Fahrspurenanordnung wie in Abbildung 25 (links). Am Tragwerk wirken Lasten aus TS und UDL. Erddruck aus UDL ist auf beide Widerlangerwände möglich.
2	Fahrspurenanordnung wie in Abbildung 25 (rechts). Ansonsten wie Variante 1.
3	Fahrspurenanordnung wie in Abbildung 26 (links). Ansonsten wie Variante 1.
4	Fahrspurenanordnung wie in Abbildung 26 (rechts). Ansonsten wie Variante 1.
5	Fahrspurenanordnung wie in Varianten 1-4. Am Tragwerk wirken nur Lasten aus UDL. Erddruck aus UDL ist auf beide Widerlangerwände möglich. Zusätzlich ist Erddruck aus TS auf eine der beiden Widerlagerwände möglich (TS kann nur auf einer Seite des Tragwerks stehen).
6	Am Tragwerk wirkt nur das Sonderfahrzeug. Erddruck aus Sonderfahrzeug ist nur einseitig möglich. Kein Erddruck aus UDL, da das Sonderfahrzeug das Tragwerk im Alleingang überquert.

Es muss hierbei erwähnt werden, dass für jede Variante und für jeden Fahrstreifen die Einwirkung aus UDL getrennt in einem Lastfall gespeichert werden. Dies gilt auch für jede Laststellung der einzelnen Fahrzeuge auf jeder Fahrspur. Es ist dem Programm somit möglich, für jede Variante die ungünstigsten Laststellungen auf den einzelnen Streifen zu ermitteln und zu verwenden. Auch sind alle Erddrücke aus Verkehrslasten in getrennten Lastfällen zu finden, um auch hier nur jene Lasten zu verwenden, welche eine ungünstige Wirkung aufweisen.

Daraus ergibt sich nun für jede der sechs Varianten aus Tabelle 12 die ungünstigste Kombination in Verbindung mit den übrigen Einwirkungen, wie Abbildung 31 zeigt. Aus diesen sechs Lastfallkombinationen werden in einem weiteren Schritt für alle maßgebenden Schnitte die maximalen und minimalen Schnittgrößen (Normalkraft, Querkraft und Biegemoment) ermittelt. Die Auswertung erfolgt getrennt für die Einwirkungen aus Lastmodell 1 (Varianten 1-5) und Lastmodell 3 (Variante 6), um in weiterer Folge für die Auswertung klar gegliederte Ergebnisse zu erhalten. Dadurch kann im Zuge der Auswertung nachvollzogen werden, welche Last den maßgebenden Anteil geliefert hat.

## 5.6.2 ÖNORM

Die Kombination gemäß ÖNorm wird nach Vorschrift des Eurocodes geführt, da sich dies durch die programminternen Kombinationsmöglichkeiten als zweckmäßig herausstellt. Hierfür werden die folgenden Kombinationsbeiwerte und Teilsicherheitsbeiwerte herangezogen.

TABELLE 13: TEILSICHERHEITS- UND KOMBINATIONSBEIWERTE FÜR SYSTEME LT. ÖNORM

Lastart	$\gamma_{sup}$	$\gamma_{inf}$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	Bezeichnung
G	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	Ständige Last
T	1,50	0,00	0,80	0,70	0,50	Temperatur
L_U	1,50	0,00	0,90	0,80	0,30	Verkehr Flächenlast
L_T	1,50	0,00	0,90	0,80	0,30	Verkehr Achslast / LKW
L_S	1,50	0,00	0,90	0,80	0,30	Verkehr Raupe
R_S	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	Erddruck ständiger Anteil
R_V	1,35	0,00	1,00	1,00	1,00	Erddruck veränderlicher Anteil
R_U	1,50	0,00	0,90	0,80	0,30	Erddruck aus Flächenlast
R_T	1,50	0,00	0,90	0,80	0,30	Erddruck aus Achslast / LKW

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der ungünstigsten Kombination und der daraus resultierenden maximale und minimalen Schnittgrößen erfolgt, bis auf kleine Unterschiede, wie bei den Systemen welche gemäß Eurocode berechnet werden (siehe 5.6.1). Diese Unterschiede finden sich lediglich in den Varianten der Verkehrslasten, welche in Tabelle 14 nochmals explizit angeführt sind.

TABELLE 14: VARIANTENÜBERSICHT DER VERKEHRSLASTEN LT. ÖNORM

Variante	Beschreibung
1	Fahrspurenanordnung wie in Abbildung 28 (links). Am Tragwerk wirken Lasten aus Achslasten und Flächenlast. Erddruck aus Flächenlast ist auf beide Widerlangerwände möglich.
2	Fahrspurenanordnung wie in Abbildung 28 (rechts). Ansonsten wie Variante 1.
3	Fahrspurenanordnung wie in Abbildung 29. Ansonsten wie Variante 1.
4	Fahrspurenanordnung wie in Varianten 1-4. Am Tragwerk wirken nur Lasten aus Flächenlast. Erddruck aus Flächenlast ist auf beide Widerlangerwände möglich. Zusätzlich ist Erddruck aus Achslast auf eine der beiden Widerlagerwände möglich.
5	Am Tragwerk wirkt nur das Raupenfahrzeug. Erddruck aus Raupenfahrzeug ist nur einseitig möglich. Kein Erddruck aus Flächenlast, da das Sonderfahrzeug das Tragwerk im Alleingang überquert.

Die Vorgehensweise der Lastfallkombination der einzelnen Varianten deckt sich mit der (bereits angeführten), wie sie auch an den Eurocode-Systemen Anwendung findet. Auch hier werden getrennte Kombinationen für den Regelverkehr (Varianten 1-4) und das Raupenfahrzeug (Variante 5) gebildet, um eine nachträgliche Übersicht über den Einfluss der einzelnen Verkehrslasten zu gewähren.

## 5.7 AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE, SCHNITTE

Um die Ergebnisse an den maßgebenden Stellen auswerten zu können, werden Schnitte über das System verteilt angeordnet (siehe Abbildung 32). Es ist notwendig, diese bereits vor Beginn der Lastfallkombination zu definieren und die einzelnen Ergebnisse für jeden Lastfall zu ermitteln. Werden die Schnitte erst nach den Lastfallkombinationen generiert, verfälscht dies das Ergebnis. Dies resultiert aus der Tatsache, dass vom Programm für jeden Knoten der Wert aus der ungünstigsten Kombination ermittelt wird und diese als Verlauf über den Schnitt dargestellt werden. Es ist aber nicht korrekt, über diesen Verlauf zu integrieren, da es dies zu einer Addition von unterschiedlichen Kombinationen führt. Die Lage der im System definierten Schnitte ist Abbildung 32 zu entnehmen.

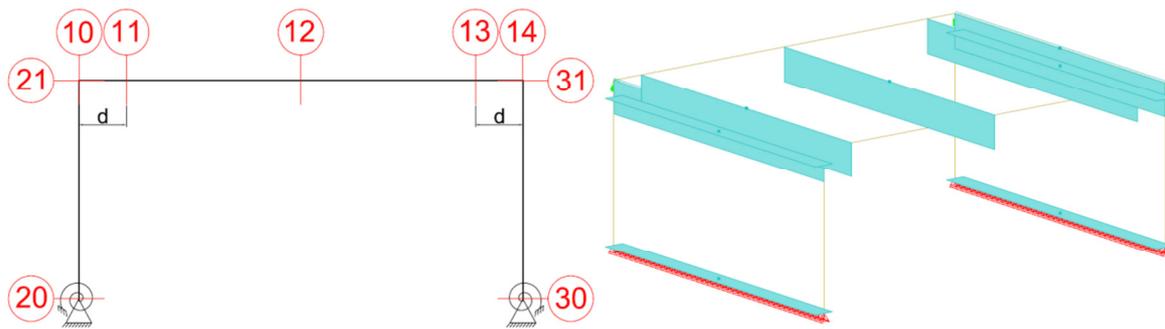


ABBILDUNG 32: SCHNITTE ZUR SCHNITTGRÖßENERMITTLUNG – SEITENANSICHT (LINKS), 3D-ANSICHT (RECHTS)

Die Schnitte Nr. 10, 14, 20, 21, 30, 31 werden jeweils im Abstand von  $1 [cm]$  von den Eckpunkten bzw. Auflagerpunkten definiert, um nicht direkt mit den Knoten im Endbereich und somit mit numerischen Problemzonen zu kollidieren. Die Schnitte Nr. 11 und 13 liegen im Abstand  $d = h_{\text{Fahrbahnquerschnitt}} - 0,05 [m]$  vom Rahmeneck und dienen in weiterer Folge für eine mögliche Auswertung von Bemessungsquerkräften. Schnitt Nr. 12 befindet sich in Feldmitte der Fahrbahnplatte.

Nach Kombination der in den einzelnen Schnitten ermittelten Schnittgrößen ergeben sich für jeden der neun Schnitte zwölf Ergebniswerte. Die zwölf Ergebnisse resultieren aus sechs Schnittgrößen (minimale/s bzw. maximale/s Moment, Normalkraft, Querkraft) und den zwei Kombinationen aus Regelverkehr und Sonderfahrzeug (siehe 5.6). Somit entstehen je System  $12 \cdot 9 = 108$  Ergebniswerte. Diese über die Breite integrierten Schnittgrößen werden direkt in der Berechnung durch die Breite dividiert, um alle Ergebnisse in der Einheit  $[kN/lfm]$  bzw.  $[kNm/lfm]$  zu erhalten. Jedes einzelne Ergebnis wird getrennt in einer Textdatei in der zugehörigen Systemvariante abgelegt und kann in weiterer Folge mittels Microsoft Excel eingelesen und weiterverarbeitet werden. Somit ist es möglich, die Ergebnisse auf Tabellenkalkulationsbasis miteinander zu vergleichen und übersichtlich in Diagrammen darzustellen.

## 6 STATISCHE UNTERSUCHUNGEN MITTELS FE-SIMULATION

---

In diesem Kapitel wird auf die ausgeführte Parameterstudie sowie die Auswertung der Ergebnisse eingegangen. Dabei werden die resultierenden Schnittgrößen einer Variante für die vier Grundsysteme (siehe 4.1) dargestellt. Des Weiteren wird die Auswertung einer Brückengeometrie unter Variation der Stützweite anhand von Diagrammen durchgeführt und beschrieben.

### 6.1 ALLGEMEINES

---

Um einen Großteil der möglichen Brückenbauwerke in der Parameterstudie abbilden zu können, werden sechs Parameter zur Beschreibung der Tragwerke herangezogen. Eine Auflistung dieser, sowie ein Auszug der Werte sind in Tabelle 15 dargestellt.

TABELLE 15: PARAMETER FÜR PARAMETERSTUDIE

Variante	Stützweite [m]	Höhe Querschnitt	Breite Fahrbahn [m]	Höhe WL-Wand [m]	Dicke WL-Wand [m]	Steifezahl Boden [kN/m <sup>2</sup> ]
1	8	L/h = 10	12	4	0.8	10000
2	10					
3	12					
4	14					
5	16					
6	18					
7	20					

Die Eingrenzung der Parameter erfolgt durch in der Praxis übliche Abmessungen für einfeldrige Plattentragwerke. Die Querschnittshöhe ist vom L/h-Verhältnis abgängig, wobei L durch die Stützweite definiert ist. Zur Eingrenzung der Steifezahlen des Bodens, welche zur Ermittlung der Drehfedersteifigkeit des Bodens dienen, werden die Werte laut [14 S. 912] herangezogen. Den oberen Grenzwert bildet dabei der Fels mit 10<sup>8</sup> [kN/m<sup>2</sup>], während die untere Grenze durch den locker gelagerten, rundkörnigen Sand mit 10<sup>4</sup> [kN/m<sup>2</sup>] gegeben ist. Für die Betrachtung der sieben Varianten wird ein locker gelagerter, rundkörniger Sand mit einer Steifezahl von 10000 [kN/m<sup>2</sup>] gewählt.

TABELLE 16: STEIFEZAHLEN ZUR ERMITTLUNG DER DREHFEDERSTEIFIGKEIT DES BODENS [14 S. 912]

Bodenart	Lagerung	Steifezahl [kN/m <sup>2</sup> ]	
		max	min
Fels		1.00E+09	1.00E+07
Schotter scharfkantig		300000	150000
Kies	dicht	400000	200000
Kies	mittel	200000	100000
Kies	locker	100000	50000
Kiessand	mitteldicht	200000	100000
Sand, scharfkörnig	dicht	300000	200000
Sand, scharfkörnig	mittel	200000	80000
Sand, scharfkörnig	locker	80000	40000
Sand, rundkörnig	dicht	200000	80000
Sand, rundkörnig	mittel	100000	50000
Sand, rundkörnig	locker	50000	10000

## 6.2 ERGEBNISSE DER BERECHNUNG

---

Eine tabellarische Darstellung der Ergebniswerte für diese Varianten, welche die Grundlage für die weiteren Rechnungen bilden, findet sich im Anhang. Hierbei sind getrennt nach ULS-Kombination mit Lastmodell 1 bzw. Lastmodell 3 für jeden der definierten Schnitte die maximalen und minimalen Werte für Normalkraft, Querkraft und Moment aufgelistet. Zusätzlich sind beispielhaft die Schnittkraftbilder der Variante 4 angehängt. Einerseits handelt es sich um die Schnittkraftverläufe über einen mittigen Längsschnitt über das gesamte Tragwerk. Dies dient dazu, um eine qualitative Kontrolle der Ergebnisse zu erhalten und die Differenzen durch die Systemänderung abschätzen zu können. Auch sind die auszuwertenden Ergebnisse, welche tabellarisch vorliegen, graphisch abgebildet.

## 6.2.1 AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE

Zur Auswertung der in der Parameterstudie ermittelten Ergebnisse werden Verhältniswerte an den maßgebenden Stellen des Tragwerks (Schnitte siehe 5.7) zwischen dem ÖNorm- und den Eurocode-Systemen gebildet. Im ersten Schritt werden die beiden Normen am Bestandtragwerk (System 1 und System 2 – siehe 4.1) verglichen. Dabei ergibt sich ein  $\alpha$ -Wert wie folgt, wobei E die resultierende Schnittgröße darstellt. Dieses Verhältnis gibt an, um wie viel die Eurocode-Last erhöht werden kann bzw. reduziert werden muss, damit die Tragsicherheit mit vorliegenden Abmessungen des Bestandtragwerks gewährleistet ist.

$$\alpha_E = \frac{E_{\text{ÖNORM}}}{E_{\text{Eurocode}}}$$

### 6.2.1.1 AUSWERTUNG DER MOMENTE

Für die Auswertung des Momentes in Feldmitte (Schnitt 12) wird, unter Verwendung der jeweils maximalen Momente, der  $\alpha_M$ -Wert ermittelt. Dieser errechnet sich zu

$$\alpha_M = \frac{M_{\text{ÖNORM}}}{M_{\text{Eurocode}}}$$

Anhand der Variante 4 wird die Ermittlung beispielhaft geführt.

$$\alpha_M = \frac{1864}{1882} = 0,99 [-]$$

Dieses Ergebnis zeigt, dass sich für die gegebene Geometrie aus Eurocode-Lasten nahezu keine Änderung der Momentenresultierenden in Feldmitte im Vergleich zu den ÖNorm-Lasten ergibt.

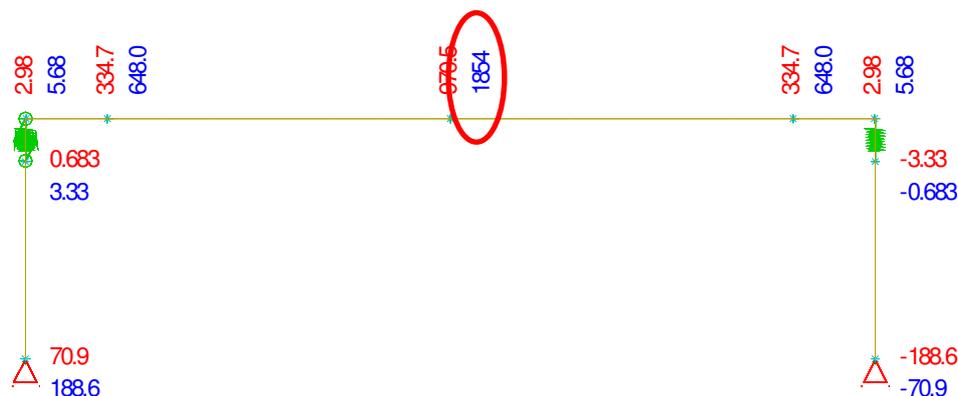


ABBILDUNG 33: RESULTIERENDE MOMENTE - VARIANTE 4 - SYSTEM 1: ÖNORM, GELENKIG

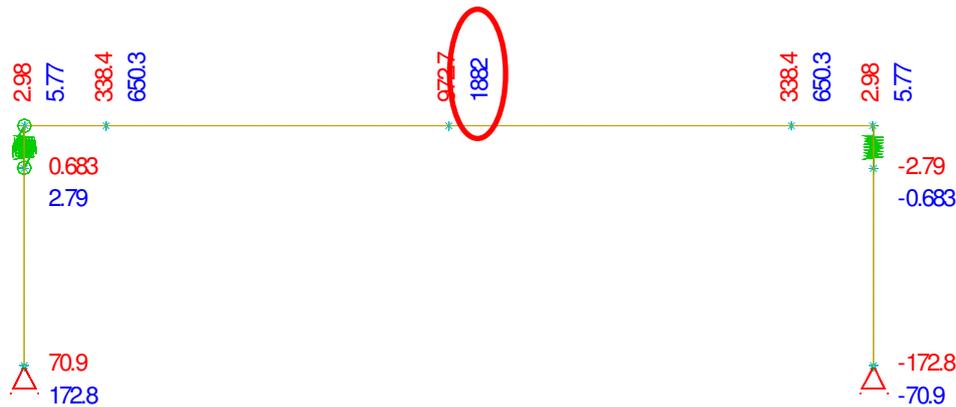


ABBILDUNG 34: RESULTIERENDE MOMENTE - VARIANTE 4 - SYSTEM 2: EUROCODE, GELENKIG

### 6.2.1.2 AUSWERTUNG DER QUERKRAFT

Für die Betrachtung der Querkraft werden in der Fahrbahnplatte die Schnitte 11 und 13 mit der reduzierten Querkraft im Abstand  $d$  vom Auflager verwendet. Da für die Bemessung der Schubbewehrung das Vorzeichen der Schnittgröße irrelevant ist, werden für ÖNorm und Eurocode aus beiden Schnitten jeweils der betragsmäßig größte Wert herangezogen und gegenübergestellt. Der  $\alpha_V$ -Wert in der Widerlagerwand wird an den Schnitten 20 und 30 auch mit den jeweils betragsmäßig größten Werten ermittelt.

Der  $\alpha_V$ -Wert ergibt sich zu

$$\alpha_V = \frac{V_{\text{ÖNORM}}}{V_{\text{Eurocode}}}$$

Für die Variante 4 ergibt sich demnach (Schnittgrößen – siehe Anhang):

$$\alpha_{V,\text{Fahrbahn}} = \frac{438,3}{441,5} = 0,99 [-]$$

$$\alpha_{V,\text{Widerlager}} = \frac{116,8}{109,1} = 1,07 [-]$$

Hier zeigt sich, dass für die Querkraft in der Widerlagerwand eine Traglasterrhöhung von 7 % möglich ist, während in der Fahrbahn die Schnittgrößen, welche aus Eurocode-Lasten resultieren jene aus ÖNorm-Lasten um 1 % übersteigen.

### 6.2.1.3 AUSWERTUNG VON MOMENT + NORMALKRAFT

Für Bauteile, welche unter Biege- und Normalkraftbeanspruchung stehen, ist es nicht ausreichend, den Vergleich ausschließlich auf den Werten der Momente basieren zu lassen. Dies ist bei Brücken mit konventioneller Bauweise vor allem für die Widerlagerwände relevant. Zur Ermittlung des Verhältniswertes  $\alpha_{M+N}$  wird die vorhandene Stahlkraft herangezogen. Diese wird über das betragsmäßig größte Biegemoment in Kombination mit der größten Normalkraft (kleinste Druckkraft bzw. größte Zugkraft) errechnet, wobei die Normalkraft vorzeichengerecht (Druckkraft negativ bzw. Zugkraft positiv) in die Berechnung miteinzubeziehen ist. Die resultierende Stahlkraft wird dabei wie folgt ermittelt.

Die einwirkende Normalkraft  $N_{Ed}$  wird rechnerisch in die Bewehrungsstahlachse verschoben (siehe Abbildung 35). Daraus ergibt sich unter der Annahme einer Betondeckung von 5 [cm] das neue Moment  $M_{sd,s}$  zu:

$$M_{sd,s} = |M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_S \quad \text{mit} \quad z_S = \frac{h_{QS}}{2} - 0,05[m]$$

Aus dem Momentengleichgewicht um die Betondruckkraft lässt sich die Stahlkraft  $N_S$  ermitteln:

$$\Sigma M_C = 0 = M_{sd,s} - N_S \cdot z + N_{Ed} \cdot z \quad \text{mit} \quad z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot (h_{QS} - 0,05[m])$$

$$N_S = \frac{M_{sd,s}}{z} + N_{Ed}$$

Unter der Verwendung von  $M_{sd,s}$  ergibt sich:

$$N_S = \frac{|M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_S}{z} + N_{Ed} \quad \text{bzw} \quad N_S = \frac{|M_{Ed}| + N_{Ed} \cdot (z - z_S)}{z}$$

Für den Vergleich zwischen ÖNorm und Eurocode ergibt sich folgende Gleichung:

$$\alpha_{M+N} = \frac{N_{S,\text{ÖNORM}}}{N_{S,\text{Eurocode}}}$$

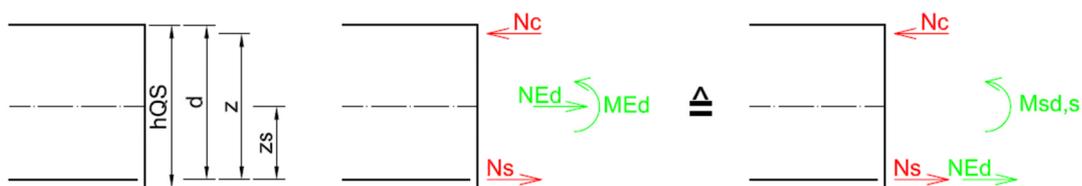


ABBILDUNG 35: ERMITTLUNG DER RESULTIERENDEN STAHLKRAFT

Für die Variante 4 ergibt sich beispielhaft (Schnittgrößen – siehe Anhang):

$$\alpha_{M+N} = \frac{\frac{|M_{Ed}| + N_{Ed} \cdot (z - z_S)}{z}}{\frac{|M_{Ed}| + N_{Ed} \cdot (z - z_S)}{z}} = \frac{\frac{|188,6| + (-340,5) \cdot (0,9 \cdot (0,8 - 0,05) - (0,4 - 0,05))}{0,9 \cdot (0,8 - 0,05)}}{\frac{|172,8| + (-340,8) \cdot (0,9 \cdot (0,8 - 0,05) - (0,4 - 0,05))}{0,9 \cdot (0,8 - 0,05)}} = 1,26 [-]$$

In diesem Fall zeigt sich, dass sich unter ÖNorm-Lasten eine um 26 % höhere Normalkraft im Bewehrungsstahl ergibt, als unter Eurocode-Lasten.

## 6.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

---

Die Verhältnismerte, wie sie gemäß 6.2.1 ermittelt werden, können für die einzelnen Längen in Form von Diagrammen graphisch dargestellt werden. Dadurch ist ein einfaches Ablesen bei gegebener Geometrie möglich.

### 6.3.1 VERGLEICH ÜBERBAU AM BESTANDSSYSTEM

---

Bei den Momenten für Lastmodell 1 lässt sich erkennen, dass bis zu einer Länge von 18 [m] die Tragfähigkeit für die Eurocode-Lasten nicht gegeben ist. Ab einer Länge von 20 [m] steigt der  $\alpha_M$ -Wert über 1, dies bedeutet, dass das Bestandssystem den Eurocode-Lasten im Sinne der Tragsicherheit genügt. Ein ähnliches Verhalten ist ebenfalls bei der Querkraft festzustellen, wo auch ab einer Länge von 20 [m] der Faktor von über 1,0 erreicht wird. Abbildung 36 zeigt die Auswertung der Momente und der Querkräfte am Bestandssystem für die Fahrbahnplatte.

Der ansteigende Verlauf mit größerer Brückenlänge lässt sich anhand der über die Breite resultierenden Verkehrsgleichlast nachvollziehen. Für eine Tragwerksbreite von 12 [m] (14,5 [m] – 2,5 [m] Randbalken) resultieren  $12 [m] \cdot 5 [kN/m^2] = 60 [kN/m]$  laut ÖNorm. Gemäß Eurocode ergibt die Flächenlast  $9 [kN/m^2] \cdot 3 [m] + 3 [m] \cdot 2,5 [kN/m^2] \cdot 3 = 49,5 [kN/m]$ . Dies zeigt, dass sich für diese Breite mit steigender Länge eine höhere Verkehrslast (auch unter Vernachlässigung des dynamischen Beiwertes) laut ÖNorm ergibt, was zu einer Erhöhung des  $\alpha$ -Wertes führt. Das Verhalten unter der ULS-Kombination mit Lastmodell 3 zeigt ein gegenläufiges Verhalten. Mit steigender Länge nehmen die  $\alpha$ -Werte für Moment und für Druckkraft ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das rund 21 [m] lange und 300 [to] schwere Sonderfahrzeug laut Eurocode mit steigender Länge größeren Einfluss hat als die Einwirkungen für Brückenklasse I laut ÖNorm. Bis zu einer Länge von 20 [m] ergibt sich jedoch kein Wert der unter 1 liegt.

ULS ÖNorm B4002-1970 / EC 1991-2 & ON B 1991-2-2011  
 ( $L/H$ )<sub>ÜB</sub> = 10 und B = 14,50 m

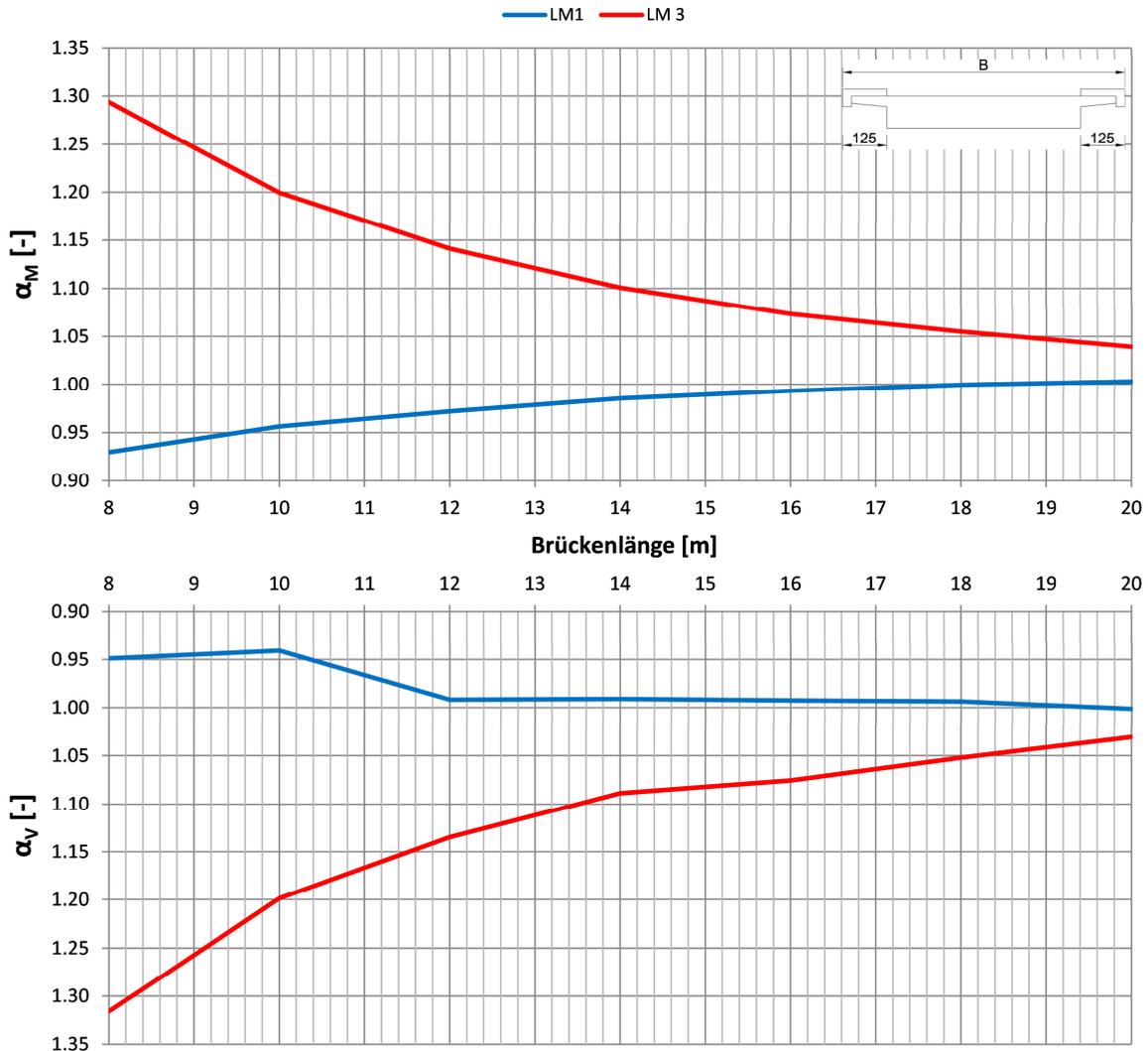


ABBILDUNG 36: VERGLEICH FAHRBAHNPLATTE AM BESTANDSSYSTEM

### 6.3.2 VERGLEICH UNTERBAU AM BESTANDSSYSTEM

Die Auswertung in der Widerlagerwand zeigt, dass sich stets ein Wert über 1 ergibt. Abweichungen stellen die  $\alpha_{M+N}$ -Werte für Lastmodell 1 bei einer Länge von 20 [m] und für Lastmodell 3 ab 18 [m] dar. Hier fällt der Wert in den negativen Bereich. Dies bedeutet, dass sich der Querschnitt im überdrückten Zustand befindet. Dies führt zu einer Drucknormalkraft (negatives Vorzeichen) im Bewehrungsstahl. Für  $\alpha_{M+N}$  bleibt das Biegemoment im Widerlagerfuß konstant, da es von der Länge des Tragwerks unabhängig ist und der Erddruck der bestimmende Faktor ist. Mit der Länge ändert sich lediglich die Drucknormalkraft in der Widerlagerwand. Anhand der stetig ansteigenden Kurven vor dem überdrückten Bereich ist erkenntlich, dass die Zugnormalkraft im Bewehrungsstahl für das Eurocode-System stetig abnimmt, da sie mit steigender Länge gegen 0 und somit das Verhältnis gegen unendlich

tendiert. Die Werte, welche sich zwischen dem Sprung aus dem Zugbereich in den überdrückten Bereich befinden, ergeben sich aus einer linearen Interpolation dieser Werte. Eine zusätzliche Auswertung für Tragwerke dieser Längen ist hier sinnvoll um den Kurvenverlauf zu verfeinern. Die Kurven, welche die Querkraftverhältnisse beschreiben, weisen einen beinahe konstanten Verlauf auf. Dies ist wiederum auf den maßgebenden Einfluss des Erddrucks zurückzuführen. Die begünstigende Wirkung einer Drucknormalkraft auf die Querkraft wird an dieser Stelle außer Acht gelassen. Abbildung 37 stellt die Auswertung der Momente in Kombination mit Normalkraft und der Querkräfte am Bestandssystem für die Widerlagerwand dar.

**ULS ÖNorm B4002-1970 / EC 1991-2 & ON B 1991-2-2011**  
 **$(L/H)_{\text{ÜB}} = 10$ ,  $(L/H^3)_{\text{ÜB}} = 7,81$  und  $B = 14,50\text{m}$**

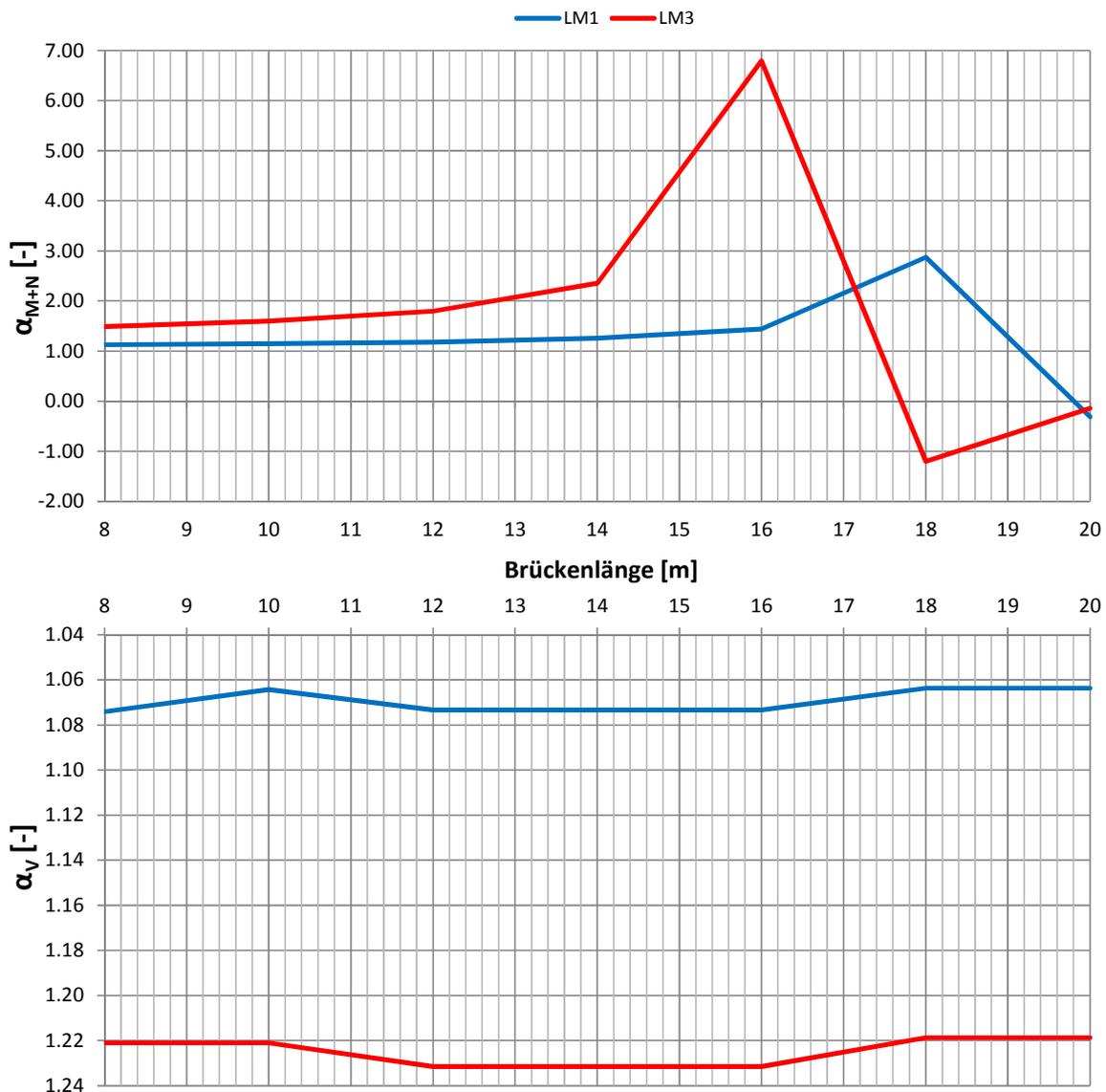


ABBILDUNG 37: VERGLEICH UNTERBAU AM BESTANDSYSTEM

### 6.3.3 VERGLEICH MOMENT MIT NORMALKRAFT IM ÜBERBAU AM INTEGRALEN SYSTEM

---

Abbildung 38 zeigt die Verhältniswerte zwischen den gelenkigen Systemen laut ÖNorm und den integralisierten Tragwerken gemäß Eurocode für die Momente mit Normalkraft im Überbau. Im 2. Quadrant ist die Auswertung für ein positives Feldmoment dargestellt. Ein Wert größer als 1,0 zeigt dabei an, dass die vorhandene Feldbewehrung im Bestandsystem auch für das integrale System ausreichend ist. Quadrant 4 vergleicht analog dazu das Verhältnis für negative Momente in Feldmitte. Dabei wird das negative Feldmoment am integralen System mit dem positiven Feldmoment des Bestandstragwerks gegenübergestellt. Somit kann festgestellt werden, welcher Anteil der unteren Feldbewehrung auch in der oberen Lage geführt werden muss. Sind, wie in der Abbildung, keine Kurven vorhanden, tritt am integralisierten System kein durchschlagendes, negatives Biegemoment auf.

Die Quadranten 1 und 3 behandeln die Rahmenecke, wobei im Quadrant 1 ein positives, öffnendes Moment und in Quadrant 3 ein negatives Moment betrachtet wird. Alle am integralen System ermittelten Werte werden wiederum mit dem maximalen Feldmoment des Bestandssystems in Relation gesetzt. Somit kann durch den Kehrwert von  $\alpha_M$  der Anteil der Feldbewehrung ermittelt werden, welcher in der Rahmenecke in oberer (Quadrant 3) und in unterer Lage (Quadrant 1) geführt werden muss.

### 6.3.4 VERGLEICH MOMENT MIT NORMALKRAFT IM UNTERBAU AM INTEGRALEN SYSTEM

---

Abbildung 39 zeigt die Verhältniswerte zwischen den gelenkigen Systemen laut ÖNorm und den integralisierten Tragwerken gemäß Eurocode für die Momente mit Normalkraft im Widerlager. Die Quadranten 2 und 4 betrachten dabei den Widerlagerfuß, während die Quadranten 1 und 3 den Widerlagerkopf behandeln. Für alle Teile des Diagramms dienen die Schnittgrößen am Widerlagerfuß als Bezugswert. Dies beruht auf der Annahme, dass die am Bestandstragwerk ermittelte Bewehrung im Widerlagerfuß ohne Abstufung bis nach oben in den Widerlagerkopf durchgezogen wird. Weiters wird von einer symmetrisch bewehrten Wand, mit derselben Bewehrung erd- bzw. luftseitig, ausgegangen.

Die Quadranten 2 und 4 zeigen durchwegs negative Werte, was bedeutet, dass sich der Widerlagerfuß am integralen System im überdrückten Zustand befindet. Die in den Quadranten 1 und 3 vorhandenen Werte geben an, welcher Anteil der auftretenden Einwirkungen im Widerlagerkopf des integralisierten Tragwerks durch die resultierenden Schnittgrößen im Widerlagerfuß am Bestandssystem abgedeckt ist. Es zeigt sich, dass der Wert von 1 nicht erreicht wird. Dies ist durch das Einspannmoment, welches durch die Verbindung von der Widerlagerwand mit dem Überbau entsteht, zu begründen.

### 6.3.5 VERGLEICH QUERKRAFT IM ÜBER- UND IM UNTERBAU AM INTEGRALEN SYSTEM

---

Abbildung 40 zeigt die Verhältnisswerte zwischen den gelenkig gelagerten Systemen laut ÖNorm und den integralisierten Tragwerken gemäß Eurocode für die Querkraft an den maßgebenden Stellen. Im Quadrant 2 ist die Querkraft in der Platte im Abstand  $d$  vom Widerlager dargestellt, während der vierte Quadrant die Auswertung im Schnitt direkt am Auflager enthält. Die Kurven in den Quadranten 1 und 3 beziehen sich jeweils auf die Querkraft im Widerlagerfuß des Bestandssystems. Somit ist für den Widerlagerfuß ablesbar, ob ausreichende Schubtragfähigkeit vorhanden ist. In Quadrant 3 kann aus der Kurve erkannt werden, welcher Anteil der Tragfähigkeit des Widerlagerfußes im Widerlagerkopf vorhanden sein muss. Auch hier ist die positive Wirkung einer Drucknormalkraft nicht berücksichtigt.

ULS ÖNorm B4002-1970 / EC 1991-2 & ON B 1991-2-2011  
 $(L/H)_{UB} = 10, (L/H^3)_{UB} = 7,81$  und  $B = 14,50$  m

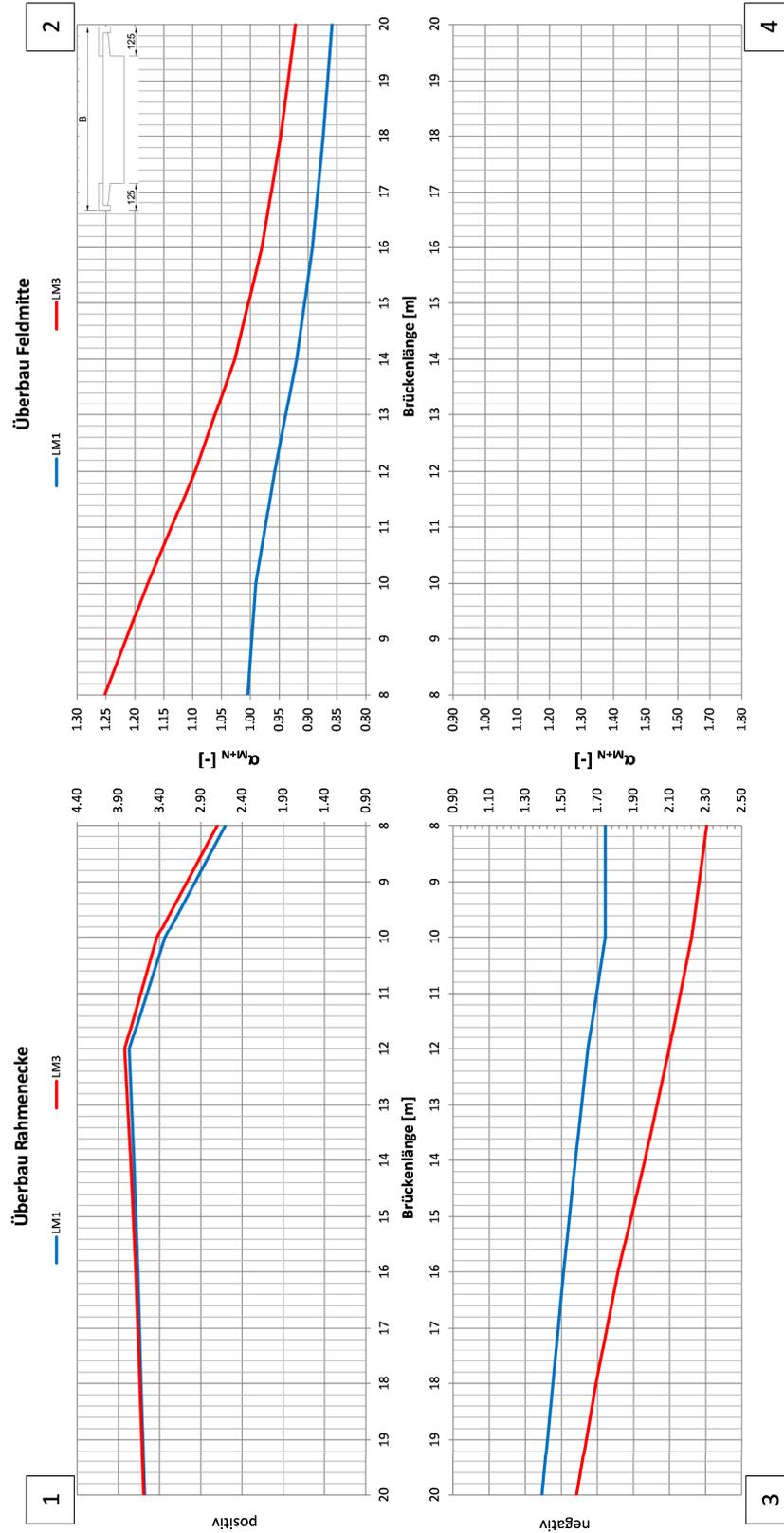


ABBILDUNG 38: VERGLEICH MOMENT MIT NORMALKRAFT IM ÜBERBAU AM INTEGRALEN SYSTEM

ULS ÖNorm B4002-1970 / EC 1991-2 & ON B 1991-2-2011  
 $(L/H)_{UB} = 10, (L/H^3)_{UB} = 7,81$  und  $B = 14,50$  m

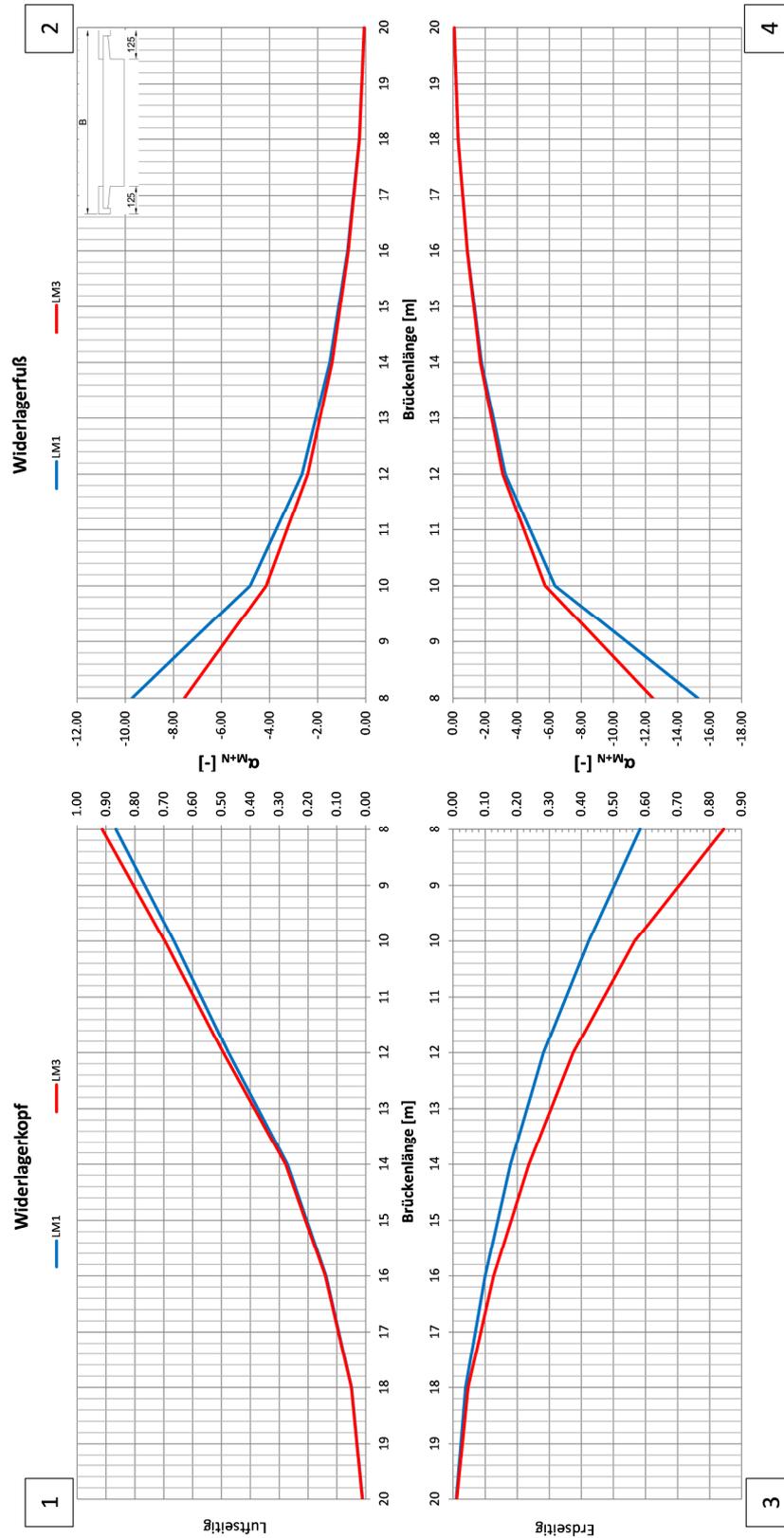


ABBILDUNG 39: VERGLEICH MOMENT MIT NORMALKRAFT IM UNTERBAU AM INTEGRALEN SYSTEM

ULS ÖNorm B4002-1970 / EC-1991-2 & ON B 1991-2-2011  
 $(L/H)_{UB} = 10, (L/H^3)_{UB} = 7,81$  und  $B = 14,50$  m

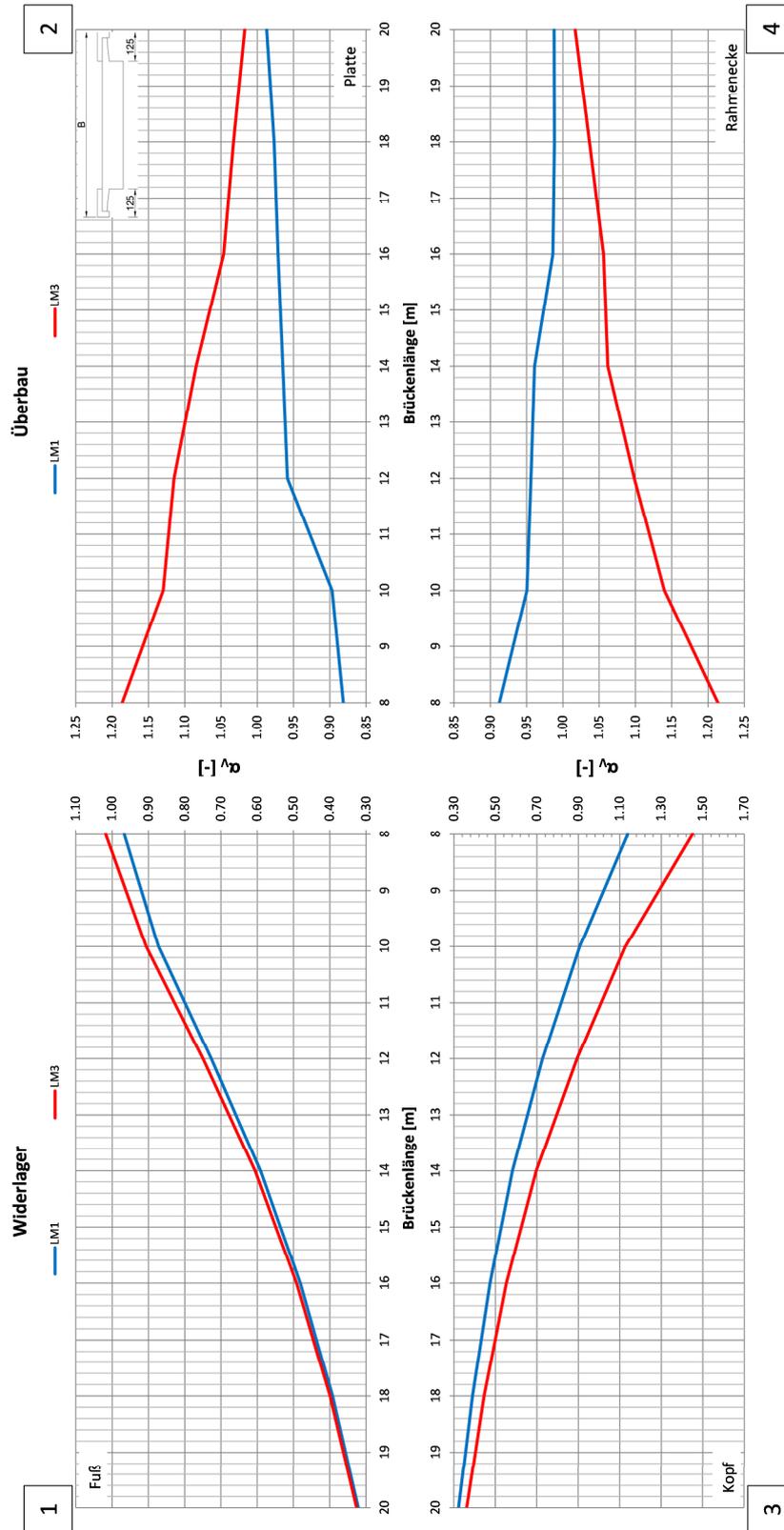


ABBILDUNG 40: VERGLEICH QUERKRAFT IM ÜBER- UND IM UNTERBAU AM INTEGRALEN SYSTEM

### 6.3.6 VERGLEICH ÜBERBAU AM BESTANDSSYSTEM UND AM INTEGRALEM SYSTEM

In Abbildung 41 ist die Auswertung der Vergleiche zwischen Bestandssystem laut ÖNorm und Eurocode (BS) bzw. zwischen Bestandssystem laut ÖNorm und integralem System laut Eurocode (IS) am Überbau dargestellt. Es zeigt sich für Systeme mit längeren Stützweiten ein schlechteres Verhalten durch die Integralisierung. Dies beruht jedoch auf der konservativen Annahme, dass für  $\alpha_{M+N}$  vereinfachend die Extremwerte herangezogen werden. In weiterer Folge ist es nötig, die Betrachtung unter der Verwendung von zugehörigen Schnittgrößen durchzuführen.

Für das Lastmodell 1 zeigt sich, dass bis zu einer Länge von ca. 11 [m] eine Integralisierung die bessere Variante darstellt. Auch für die Querkraft ist durchwegs ein günstigeres Verhalten der Bestandssysteme zu erkennen. Auch hierfür ist es aber gleichermaßen von Bedeutung, die zugehörige Normalkraft in der Berechnung zu berücksichtigen, um deren positive Wirkung mitabzubilden.

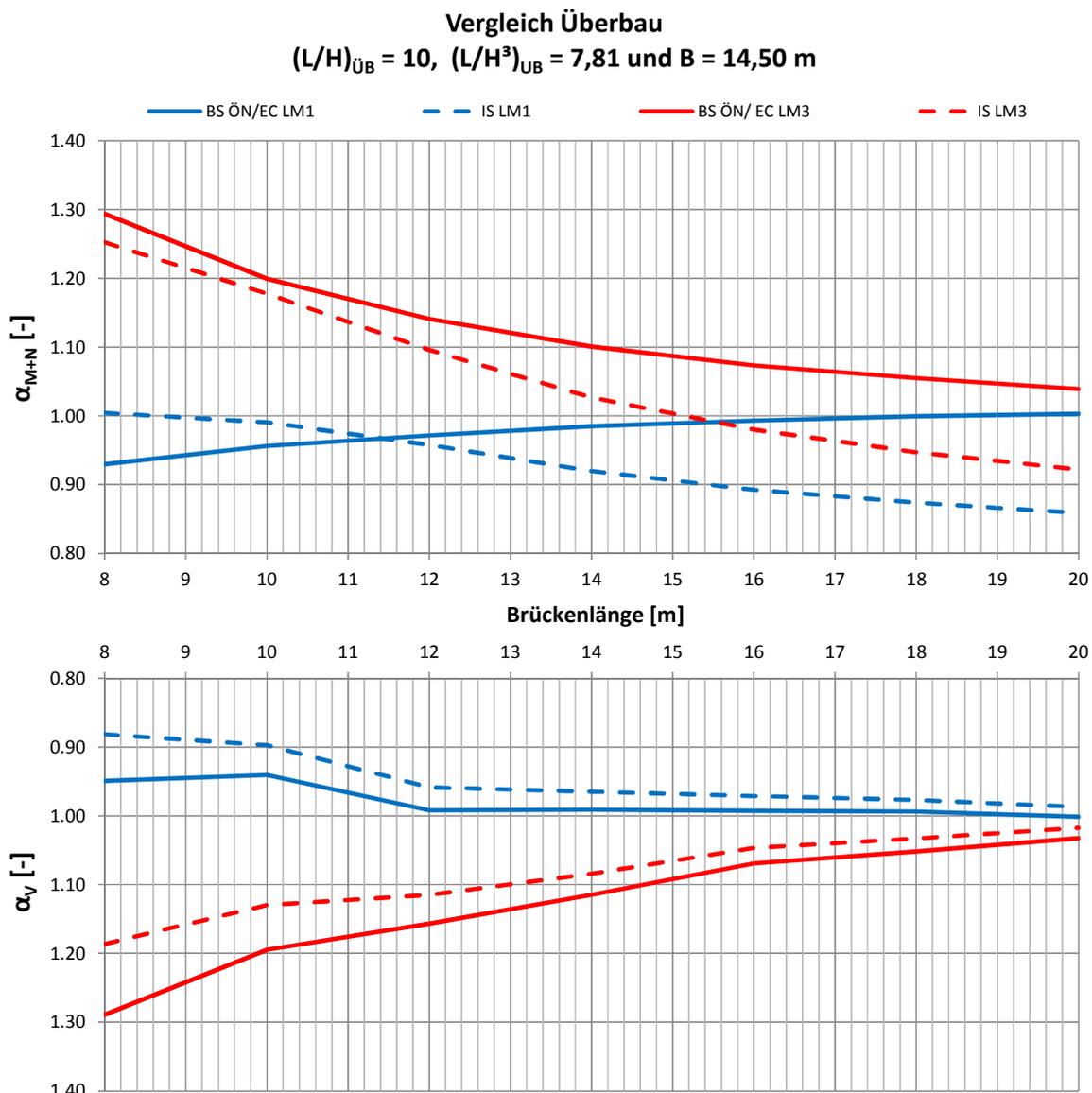


ABBILDUNG 41: VERGLEICH ÜBERBAU AM BESTANDSSYSTEM UND AM INTEGRALEM SYSTEM

### 6.3.7 VERGLEICH UNTERBAU AM BESTANDSSYSTEM UND AM INTEGRALEN SYSTEM

Abbildung 42 zeigt die Auswertung der Vergleiche zwischen Bestandssystem laut ÖNorm und Eurocode (BS) bzw. zwischen Bestandssystem laut ÖNorm und integralem System laut Eurocode (IS) für den Unterbau. Bei der Auswertung der Momente ist zu erkennen, dass sich das integralisierte Tragwerk im Bereich des Wandfußes durchgehend im überdrücken Zustand befindet. Auch das Bestandstragwerk weist an dieser Stelle für die betrachteten Längen stets die nötigen Tragreserven auf, um die Eurocode-Lasten abzutragen (siehe auch Abbildung 37). Die Ergebnisse der Querkräfte zeigen, dass das Bestandstragwerk ausreichend tragfähig ist. Kommt es zu einer Integralisierung, ist die Tragfähigkeit nicht mehr gegeben. Dies begründet sich durch die Tatsache, dass am integralen Tragwerk aufgrund der statischen Unbestimmtheit Zwangsnormalkräfte aus Temperaturlasten entstehen, welche über das biegesteife Rahmeneck in den Unterbau als Querkräfte übertragen werden.

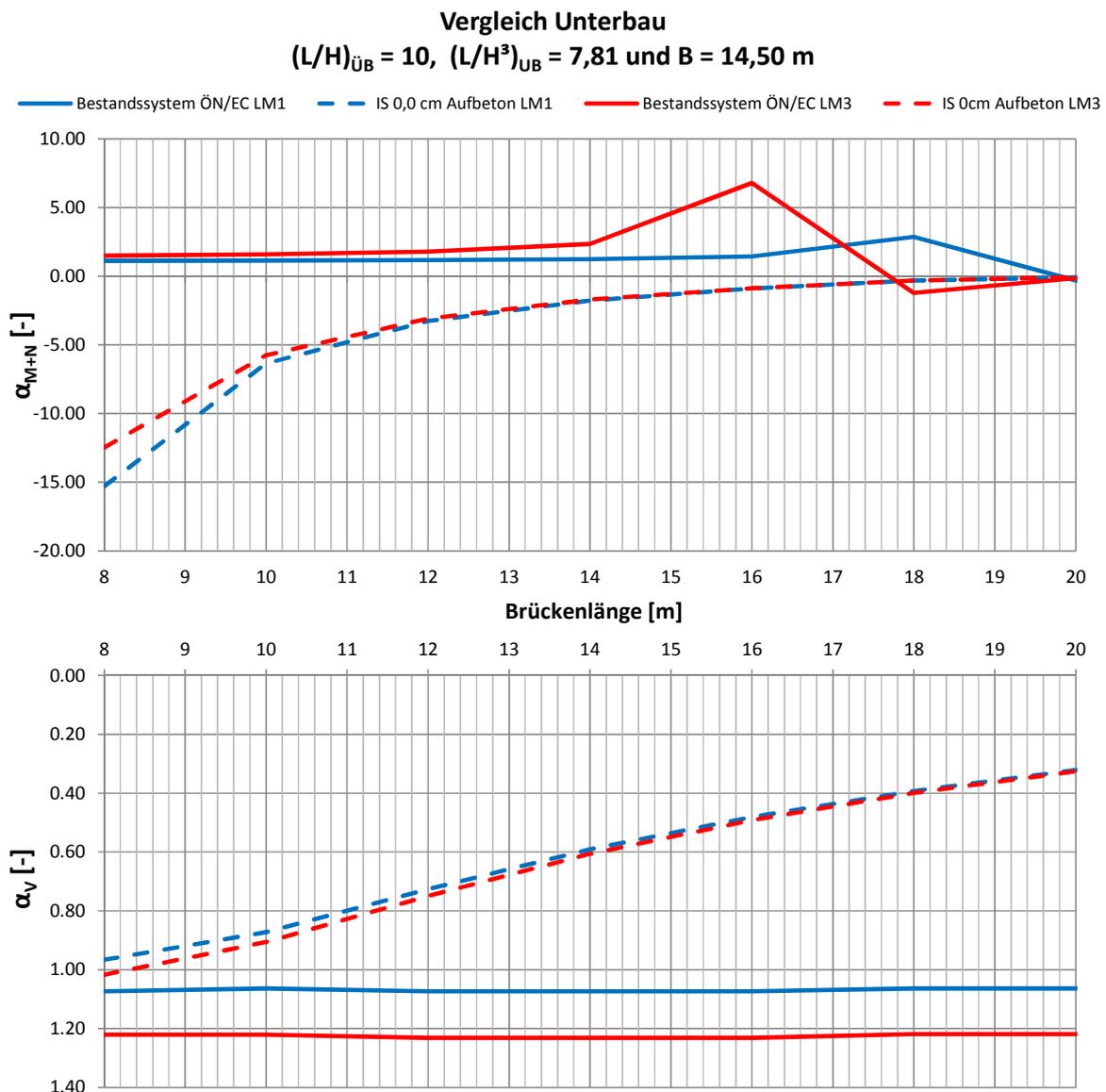


ABBILDUNG 42: VERGLEICH UNTERBAU AM BESTANDSSYSTEM UND AM INTEGRALEN SYSTEM

## 7 CONCLUSIO

---

Die Auswertung der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Parameterstudie gibt Aufschluss über den in weiterer Folge nötigen Forschungsbedarf und liefert die im Folgenden ausgeführten Erkenntnisse.

Es kann beobachtet werden, dass sich die Auswirkungen des Verkehrs laut ÖNorm im Verhältnis zum Lastmodell 1 gemäß Eurocode mit zunehmender Spannweite günstiger verhalten. Dies begründet sich durch die höheren Flächenlasten, welche laut ÖNorm in der Berechnung zu berücksichtigen sind. Der Einfluss von breiteren Fahrspuren bei größerer Tragwerksbreite wirkt sich somit begünstigend auf die Verhältnismerte aus, da die Spuren laut Eurocode mit 9,0 bzw. 2,5 [kN/m<sup>2</sup>] und laut ÖNorm mit 5 [kN/m<sup>2</sup>] in die Rechnung eingehen. Ein gegenläufiges Verhalten ist jedoch bei den Sonderfahrzeugen zu erkennen. Hier wird mit größeren Brückenlängen die Last laut Eurocode zunehmend maßgebend. Diese Tatsache ist auf den höheren Lastwert (300 [to]) im Vergleich zur Brückenklasse I laut ÖNorm (60 [to]) zurückzuführen. Es erscheint aus diesem Grund sinnvoll, andere Sonderfahrzeuge, welche im Eurocode verankert sind, zu betrachten und deren Einfluss auszuwerten.

Das rechnerische Ausmaß der benötigten Verstärkungen ist maßgeblich von den auftretenden Zwangsbeanspruchungen am statisch unbestimmten, integralen System abhängig. Dies wird unter anderem bei der Querkraft im Widerlagerfuß deutlich. Diese erreichen bei integralen Tragwerken aus den Temperaturlasten, welche zu Normalkräften in der Fahrbahnplatte führen und als Querkräfte in die Widerlagerwand eingeleitet werden, bedeutend höhere Werte, als sie am zwängungsfrei gelagerten Bestandstragwerk auftreten. Da jedoch im ersten Schritt auf die Betrachtung von zugehörigen Schnittgrößen verzichtet wurde, können darüber erst nach einer Analyse dieser genaue Aussagen getroffen werden. Es ist jedoch mit einer Verbesserung der Werte zu rechnen, da die momentane Betrachtung auf der konservativen Seite liegt.

Die Betrachtung der Rahmenecke zeigt, dass die erforderliche Bewehrung in oberer und in unterer Lage im ungünstigsten Fall das Ausmaß der am Bestandstragwerk ermittelten Feldbewehrung erreicht.

Allgemein kann festgestellt werden, dass für den Umbau von bestehenden, konventionell gelagerten Brücken in Integralbrücken durchaus Potenzial vorhanden ist. Im nächsten Schritt gilt es die bereits erwähnten Punkte näher zu betrachten, um weiterführende Aussagen treffen zu können.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

Abbildung 1: Beispiel einer integral ausgeführten Brücke (Sunnibergbrücke) [1].....	1
Abbildung 2: Zeitabhängiger Verlauf von Spannungen und Dehnungen bei Kriechen und Relaxation [5 S. I-20].....	5
Abbildung 3: Darstellung der Bauwerksverschiebung aufgrund monotoner bzw. zyklischer Bewegungen [6 S. 296].....	7
Abbildung 4: Auflösung eines Pfeilers [15 S. 37].....	11
Abbildung 5: Lastmodell 1 - Lasten auf den einzelnen Fahrstreifen [24 S. 460].....	15
Abbildung 6: Lastmodell 3 - Anordnung der Achslasten [21 S. 127].....	16
Abbildung 7: Lastaufbringung aus Bremsen bzw. Anfahren (links), Lastaufbringung aus Fliehkraft (rechts) [19 S. 8] .....	17
Abbildung 8: Qualitativer Zusammenhang zwischen Verschiebung und mobilisiertem Erddruck (Parallelverschiebung der Wand) [31 S. 371].....	21
Abbildung 9: Erhöhter Erddruck aufgrund von Nachverdichtung lt. UK Highways Agency Design Manual for Roads and Bridges [13 S. 37] .....	22
Abbildung 10: Schematische Darstellung des Waagebalkenprinzips [45 S. 19] .....	27
Abbildung 11: Modell des statischen Systems in SOFiSTiK .....	29
Abbildung 12: schematische Darstellung der Systemänderung - gelenkig -> integral .....	30
Abbildung 13: Gelenkige Modellierung des Anschlusses zwischen Fahrbahnplatte und Widerlagerwand in SOFiSTiK .....	32
Abbildung 14: Gelenkiges System - Tragweise der Fahrbahnplatte .....	32
Abbildung 15: Biegesteife Modellierung des Überganges zwischen Fahrbahnplatte und Widerlagerwand mittels Kopplungen in SOFiSTiK.....	33
Abbildung 16: Biegesteifes (Rahmen-) System .....	33
Abbildung 17: Lage der Kopplungen .....	34
Abbildung 18: Detailansicht der Kopplung zwischen Fahrbahnplatte und Widerlagerwand .....	35
Abbildung 19: Lage der Knoten in der Fahrbahnplatte .....	35
Abbildung 20: Ermittlung Drehfedersteifigkeit lt. Petersen [14 S. 912] .....	37
Abbildung 21: Fahrbahnquerschnitt - Last aus Randbalken .....	41
Abbildung 22: Einwirkungen infolge Erddruck ohne Verkehr .....	44
Abbildung 23: Einwirkungen infolge Erddruck aus Verkehrslasten .....	45
Abbildung 24: Lastausbreitung der Achslasten .....	46

Abbildung 25: Spuren für Verkehrslasten lt. Eurocode - Variante 1 (links) und Variante 2 (rechts)	47
Abbildung 26: Spuren für Verkehrslasten lt. Eurocode - Variante 3 (links) und Variante 4 (rechts)	47
Abbildung 27: Beispielhafte Positionierung Tandemsystem lt. Eurocode	48
Abbildung 28: Spuren für Verkehrslasten lt. ÖNorm – Variante 1 (links) und Variante 2 (rechts)	49
Abbildung 29: Spuren für Verkehrslasten lt. ÖNorm – Variante 3	49
Abbildung 30: Negative Flächenlast im Bereich des Fahrzeuges	50
Abbildung 31: Übersicht über Lastfallkombinationen	51
Abbildung 32: Schnitte zur Schnittgrößenermittlung – Seitenansicht (links), 3D-Ansicht (rechts)	55
Abbildung 33: Resultierende Momente - Variante 4 - System 1: ÖNorm, gelenkig	58
Abbildung 34: Resultierende Momente - Variante 4 - System 2: Eurocode, gelenkig	59
Abbildung 35: Ermittlung der resultierenden Stahlkraft	60
Abbildung 36: Vergleich Fahrbahnplatte am Bestandssystem	62
Abbildung 37: Vergleich Unterbau am Bestandssystem	63
Abbildung 38: Vergleich Moment mit Normalkraft im Überbau am integralen System	66
Abbildung 39: Vergleich Moment mit Normalkraft im Unterbau am integralen System	67
Abbildung 40: Vergleich Querkraft im Über- und im Unterbau am integralen System	68
Abbildung 41: Vergleich Überbau am Bestandssystem und am integralen System	69
Abbildung 42: Vergleich Unterbau am Bestandssystem und am integralen System	70

## TABELLENVERZEICHNIS

---

Tabelle 1: Wirksame Überbauverkürzungen - Einfluss des unterschiedlichen Betonalters beim Fugenschluss (in ‰) [2 S. 12] .....	6
Tabelle 2: Anzahl und Breite der rechnerischen Fahrstreifen [21 S. 31] .....	13
Tabelle 3: Lastmodell 1 - charakteristische Werte [21 S. 35].....	15
Tabelle 4: Verkehrslasten gemäß ÖNorm B 4002 (1970) [16 S. 6].....	18
Tabelle 5: Erddruckansatz auf Stützkonstruktionen in Abhängigkeit derer Nachgiebigkeit [32 S. 42].....	23
Tabelle 6: Anhaltswerte zur erforderlichen Wandbewegung zur Erzeugung des aktiven Erddrucks [32 S. 44].....	23
Tabelle 7: Anhaltswerte zur erforderlichen Wandbewegung zur Erzeugung des passiven Erddrucks [32 S. 46].....	24
Tabelle 8: Verwendete Betonfestigkeitsklassen .....	30
Tabelle 9: Lastfälle für Systeme laut ÖNorm.....	38
Tabelle 10: Lastfälle für Systeme laut Eurocode .....	39
Tabelle 11: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für Systeme lt. Eurocode [55].....	51
Tabelle 12: Variantenübersicht der Verkehrslasten lt. Eurocode .....	52
Tabelle 13: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für Systeme lt. ÖNorm .....	53
Tabelle 14: Variantenübersicht der Verkehrslasten lt. ÖNorm.....	54
Tabelle 15: Parameter für Parameterstudie .....	56
Tabelle 16: Steifezahlen zur Ermittlung der Drehfedersteifigkeit des Bodens [14 S. 912] .....	57

## LITERATURVERZEICHNIS

---

- [1] TCS. [Online] [Zitat vom: 14. Mai 2013.] [http://www.tcs.ch/de/der-club/meine-region/graubuenden/1media/bilder/panorama-startbilder/weblication/wThumbnails/sunniberg-bruecke-intro\\_768\\_300.jpg](http://www.tcs.ch/de/der-club/meine-region/graubuenden/1media/bilder/panorama-startbilder/weblication/wThumbnails/sunniberg-bruecke-intro_768_300.jpg).
- [2] Kaufmann, Walter. *Integrale Brücken - Sachstandsbericht*. Greifensee : Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK - Bundesamt für Strassen, 2008.
- [3] Geier, Roman. *Heft 596: Planung integraler Brücken*. Wien : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie - Straßenforschung, 2011.
- [4] Engelsmann, Stephan, Schlaich, Jörg und Schäfer, Kurt. *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 496: Entwerfen und Bemessen von Betonbrücken ohne Fugen und Lager*. Berlin : Beuth, 1999.
- [5] Maydl, Peter und Tritthart, Josef. *Vorlesungsskriptum zu Baustofflehre GL*. Graz : Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA für Festigkeits- und Materialprüfung, 2007.
- [6] Berger, Dieter, et al. Besonderheiten bei Entwurf und Bemessung integraler Betonbrücken. *Beton- und Stahlbetonbau*. 1999, Heft 4.
- [7] Trost, H und Mainz, B. *Beton- und Stahlbetonbau, Vol. 65, Zur Auswirkung von Zwängungen in Spannbetontragwerken*. 1970.
- [8] Kerokoski, Olli. *Soil-Structure Interaction of Long Jointless Bridges with Integral Abutments*. Tampere : Tampere University of Technology, 2006.
- [9] SIA 261 - Einwirkungen auf Tragwerke. Zürich : Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2003.
- [10] Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 1, Sect. 3, Part 12, BA 42/96, amendment No. 1: "The Design of Integral Bridges". s.l. : UK Highways Agency, 2003.
- [11] Vogt, N. *Erdwiderstandsermittlung bei monotonen und wiederholten Wandbewegungen in Sand*. Stuttgart : Baugrundinstitut Stuttgart, 1984.
- [12] England, George L., Tsang, Neil C. M. und Bush, David I. *Integral bridges - A fundamental approach to the time-temperature loading problem*. London : s.n., 2000.
- [13] Alvarez, Manuel, et al. *Konstruktive Einzelheiten von Brücken*. Bern : Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK - Bundesamt für Strassen ASTRA, 2011.
- [14] Petersen, Christian. *Statik und Stabilität der Baukonstruktionen*. Braunschweig : Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1982.

- [15] Pötzl, Michael, Schlaich, Jörg und Schäfer, Kurt. *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 461: Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung lager- und fugenloser Brücken*. Berlin : Beuth, 1996.
- [16] ÖNorm B 4002 (1970-12-01): Straßenbrücken - Allgemeine Grundlagen - Berechnung und Ausführung der Tragwerke. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [17] ÖNorm EN 1991-1-1 (2011-09-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [18] ÖNorm B 1991-1-1 (2011-12-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau (Nationale Festlegungen zu ÖNorm EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen). Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [19] Unterweger, Harald. Skriptum zur Vorlesung Brückenbau Grundlagen. Graz : s.n., 2012.
- [20] ASFiNAG. Planungshandbuch Brücke - BAU - Technische Richtlinie (2011-08-31). Wien : ASFiNAG - Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft, 2011.
- [21] ÖNorm EN 1991-2 (2012-03-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [22] ÖNorm B 1991-2 (2011-04-15) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken (Nationale Festlegungen zu ÖNorm EN 1991-2 und nationale Ergänzungen). Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [23] Eichinger-Vill, Eva und Glatzl, Johann. *Einwirkungen auf Straßen-, Fußgänger- und Radwegbrücken gemäß Eurocode*. Wien : Austrian Standards plus, 2009.
- [24] Mehlhorn, Gerhard. *Handbuch Brücken - Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten*. Heidelberg : Springer, 2007.
- [25] ÖNorm B 4002 (1964-11-01): Straßenbrücken - Allgemeine Grundlagen - Berechnung und Ausführung der Tragwerke. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [26] ÖNorm B 4002 (1958-03-08): Straßenbrücken - Allgemeine Grundlagen - Berechnung und Ausführung der Tragwerke. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [27] ÖNorm B 4002 (1948-11-16): Straßenbrücken - Allgemeine Grundlagen - Berechnung und Ausführung der Tragwerke. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [28] ÖNorm EN 1991-1-5 (2012-01-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [29] ÖNorm B 1991-1-5 (2012-01-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen (Nationale Festlegungen zu ÖNorm EN 1991-1-5 und nationale Ergänzungen). Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [30] ÖNorm B 4200 Teil 4 (1984-08-01): Stahlbetontragwerke - Grundlagen der Berechnung. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.

- [31] Witt, Karl Josef. *Grundbau - Taschenbuch Teil 1: Geotechnische Grundlagen*. 7. Berlin : Ernst & Sohn, 2008.
- [32] DIN 4085 (2011-05-01): Baugrund - Berechnung des Erddrucks. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [33] ZTV-ING Teil 5: Tunnelbau, Abschnitt 2: Offene Bauweise (2012-03-01). Bergisch Gladbach : Bundesamt für Straßenwesen, 2012.
- [34] RVS 15.02.12: Bemessung und Ausführung von integralen Brücken (in Bearbeitung). Wien : Österreichische Forschungsgesellschaft - Straße - Schiene - Verkehr, 2012.
- [35] Bartl, Uwe. *Zur Mobilisierung des passiven Erddrucks in kohäsionslosem Boden*. Dresden : Institut für Geotechnik, TU Dresden, 2004.
- [36] Besler, Detlef. *Wirklichkeitsnahe Erfassung der Fußauflagerung und des Verformungsverhaltens von gestützten Baugrubenwänden*. Dortmund : Universität Dortmund Fakultät Bauwesen, 1998.
- [37] ÖNorm EN 1991-1-7 (2007-04-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen - Außergewöhnliche Einwirkungen. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [38] ÖNorm B 1991-1-7 (2007-04-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen - Außergewöhnliche Einwirkungen (Nationale Festlegungen zu ÖNorm EN 1991-1-7 und nationale Ergänzungen). Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [39] ÖNorm EN 1991-1-4 (2011-05-15) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [40] ÖNorm B 1991-1-4 (2011-10-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten (Nationale Festlegungen zu ÖNorm EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen). Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [41] ÖNorm EN 1991-1-3 (2012-03-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [42] ÖNorm B 1991-1-3 (2006-04-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten (Nationale Festlegungen zu ÖNorm EN 1991-1-3 und nationale Ergänzungen). Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [43] ÖNorm EN 1991-1-6 (2010-10-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen - Einwirkungen während der Bauausführung. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [44] ÖNorm B 1991-1-6 (2006-01-01) - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen - Einwirkungen während der Bauausführung (Nationale Festlegungen zu ÖNorm EN 1991-1-6 und nationale Ergänzungen). Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [45] Haider, Alois. [Online] [Zitat vom: 2. Mai 2013.] [http://www.ktn.gv.at/190839\\_DE-Kommunales\\_Management-EUROCode7\\_Einwirkung\\_auf\\_Bauausfuehrung\\_Haider\\_2010.pdf](http://www.ktn.gv.at/190839_DE-Kommunales_Management-EUROCode7_Einwirkung_auf_Bauausfuehrung_Haider_2010.pdf).

- [46] ÖNorm EN 1997-1 (2009-05-15) - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik; Teil 1: Allgemeine Regeln. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [47] ÖNorm B 1997-1-1 (2010-03-15) - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik; Teil 1: Allgemeine Regeln (Nationale Festlegungen zu ÖNorm EN 1997-1 und nationale Ergänzungen). Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [48] ÖNorm B 4431-1 (1983-09-01): Erd- und Grundbau - Zulässige Belastungen des Baugrundes - Setzungsberechnungen für Flächengründungen. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [49] ÖNorm EN 1990 (2003-03-01) - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [50] ÖNorm EN 1992-1-1 (2011-12-01) - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.
- [51] Fingerloos, Frank, Hegger, Josef und Zilch, Konrad. *Eurocode 2 für Deutschland: DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang Kommentierte Fassung*. s.l. : Beuth, 2012.
- [52] RVS 15.02.34: Berechnungs- und Bemessungshilfen, Bemessung und Ausführung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten. Wien : Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2011.
- [53] König, Heunisch und Partner - Beratende Ingenieure für Bauwesen. *Entwurfshilfen für integrale Straßenbrücken - Anlage 1 - Musterberechnung für eine integrale Fuß- und Radwegbrücke*. Frankfurt am Main : s.n., 2003.
- [54] RVS 15.03.15: Fahrbahnaufbau auf Brücken. Wien : Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2001.
- [55] ÖNorm EN 1990:2002/A1 (2005-12-01) - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung. Wien : Österreichisches Normungsinstitut.

# ANHANG

## SCHNITTGRÖßENBILDER

Die im Folgenden abgebildeten Schnittgrößen beziehen sich stets auf Variante 4, welche eine Stützweite von 14 [m] aufweist (siehe 6.2) und unter der ULS-Kombination mit Lastmodell 1 berechnet wurde.

### SYSTEM 1 – ÖNORM, GELENKIG

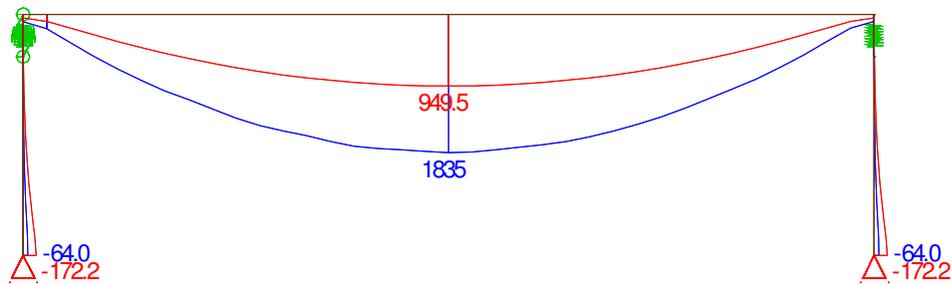


ABBILDUNG A 1: MOMENTENVERLAUF – SYSTEM 1 – ÖNORM, GELENKIG

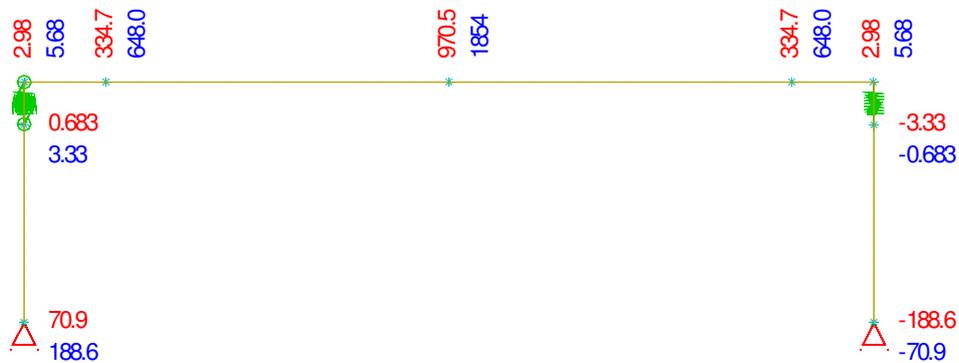


ABBILDUNG A 2: RESULTIERENDE MOMENTE – SYSTEM 1 – ÖNORM, GELENKIG



ABBILDUNG A 3: NORMALKRAFTVERLAUF - SYSTEM 1 - ÖNORM, GELENKIG

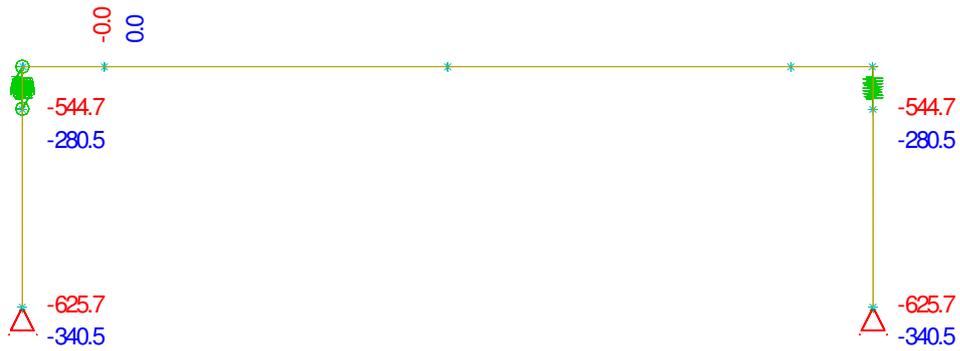


ABBILDUNG A 4: RESULTIERENDE NORMALKRÄFTE – SYSTEM 1 – ÖNORM, GELENKIG

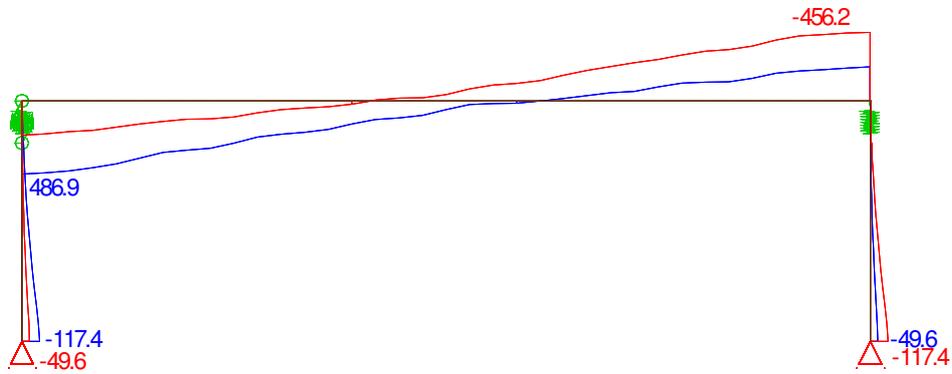


ABBILDUNG A 5: QUERKRAFTVERLAUF – SYSTEM 1, ÖNORM, GELENKIG

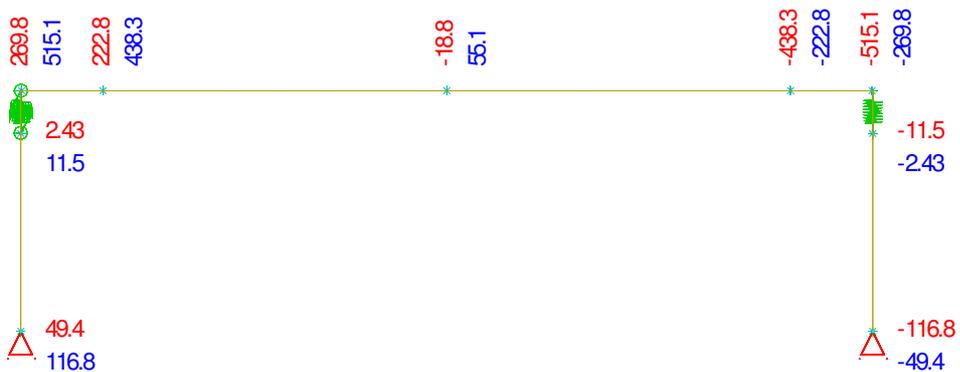


ABBILDUNG A 6: RESULTIERENDE QUERKRÄFTE – SYSTEM 1 – ÖNORM, GELENKIG

SYSTEM 2 – EUROCODE, GELENKIG

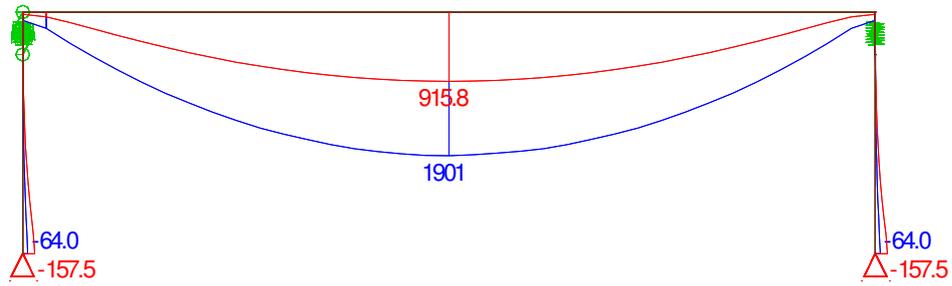


ABBILDUNG A 7: MOMENTENVERLAUF – SYSTEM 2, EUROCODE, GELENKIG

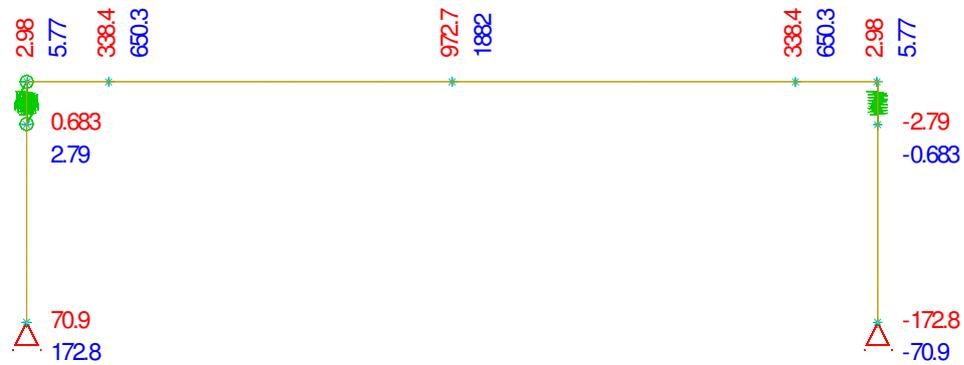


ABBILDUNG A 8: RESULTIERENDE MOMENTE – SYSTEM 2 – EUROCODE, GELENKIG



ABBILDUNG A 9: NORMALKRAFTVERLAUF – SYSTEM 2, EUROCODE, GELENKIG

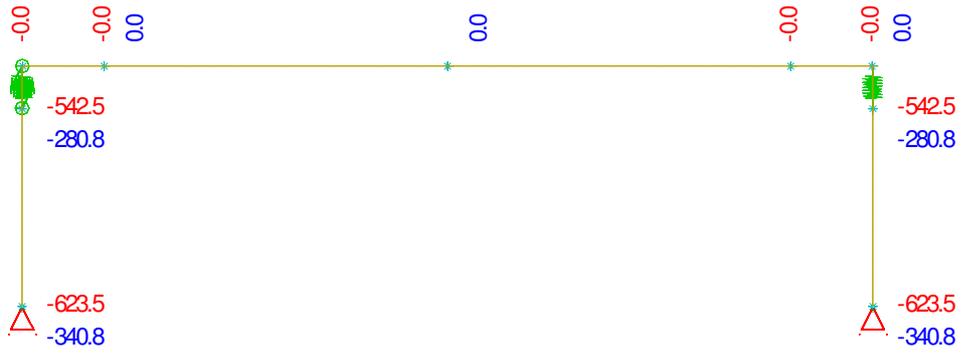


ABBILDUNG A 10: RESULTIERENDE NORMALKRÄFTE – SYSTEM 2 – EUROCODE, GELENKIG

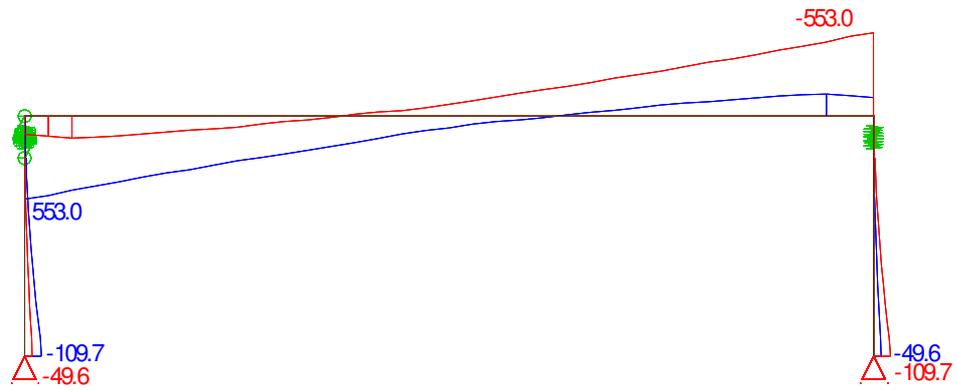


ABBILDUNG A 11: QUERKRAFTVERLAUF – SYSTEM 2, EUROCODE, GELENKIG

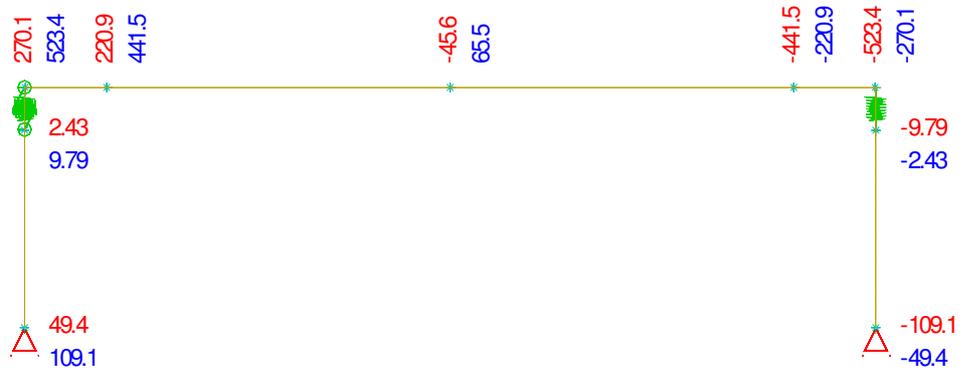


ABBILDUNG A 12: RESULTIERENDE QUERKRÄFTE – SYSTEM 2 – EUROCODE, GELENKIG

SYSTEM 3A – EUROCODE, RAHMEN, MINIMALE BODENKENNWERTE

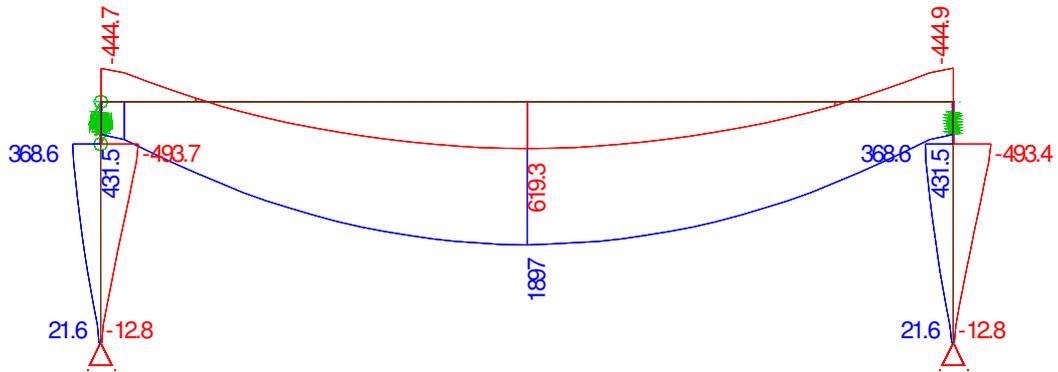


ABBILDUNG A 13: MOMENTENVERLAUF – SYSTEM 3A – EUROCODE, RAHMEN, MIN. BODENKENNWERTE

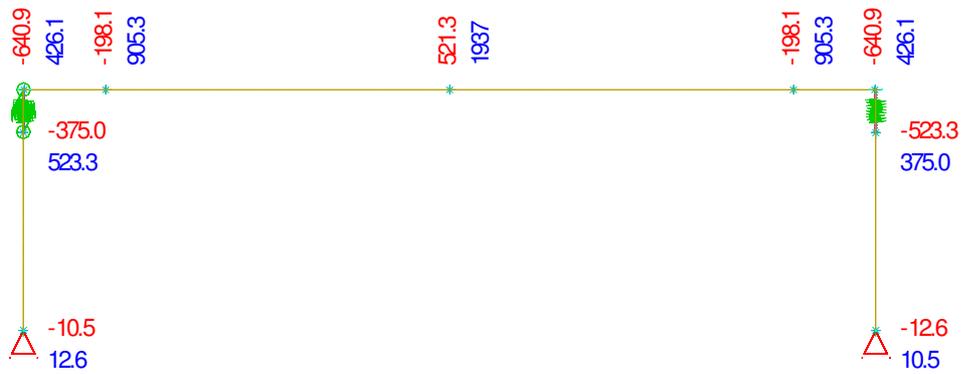


ABBILDUNG A 14: RESULTIERENDE MOMENTE – SYSTEM 3A – EUROCODE, RAHMEN, MIN. BODENKENNWERTE



ABBILDUNG A 15: NORMALKRAFTVERLAUF – SYSTEM 3A – EUROCODE, RAHMEN, MIN. BODENKENNWERTE

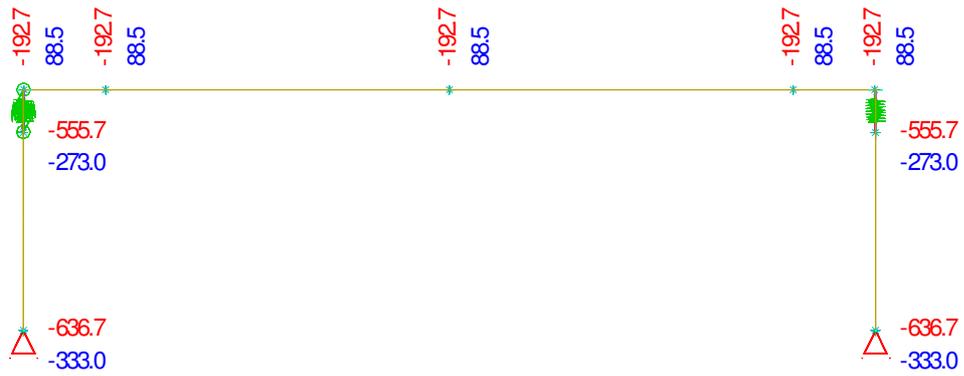


ABBILDUNG A 16: RESULTIERENDE NORMALKRÄFTE – SYSTEM 3A – EUROCODE, RAHMEN, MIN. BODENKENNWERTE

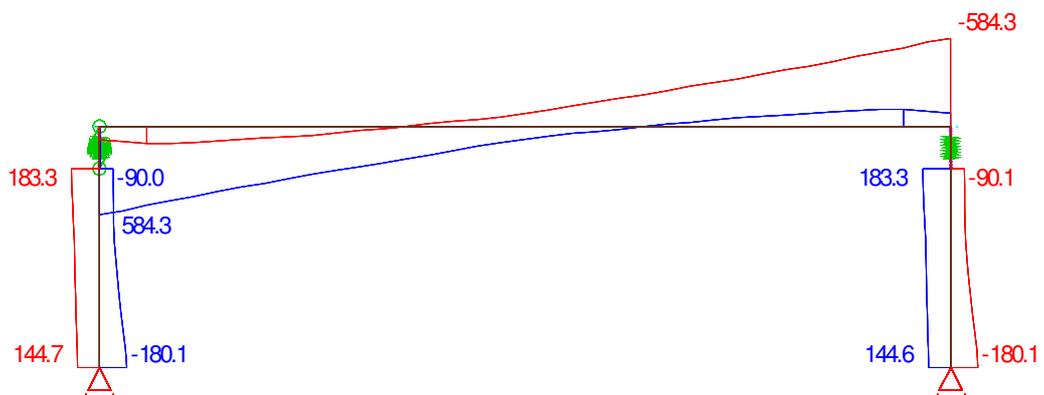


ABBILDUNG A 17: QUERKRAFTVERLAUF – SYSTEM 3A – EUROCODE, RAHMEN, MIN. BODENKENNWERTE

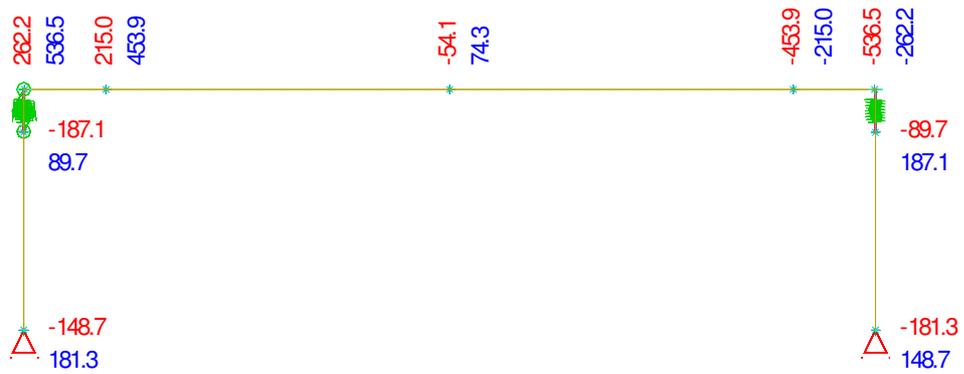


ABBILDUNG A 18: RESULTIERENDE QUERKRÄFTE – SYSTEM 3A – EUROCODE, RAHMEN, MIN. BODENKENNWERTE

# SYSTEM 3B – EUROCODE, RAHMEN, MAXIMALE BODENKENNWERTE

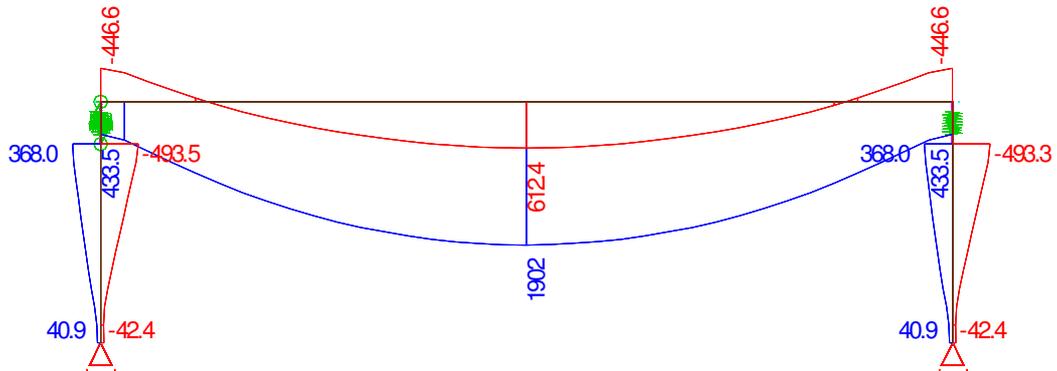


ABBILDUNG A 19: MOMENTENVERLAUF – SYSTEM 3B – EUROCODE, RAHMEN, MAX. BODENKENNWERTE

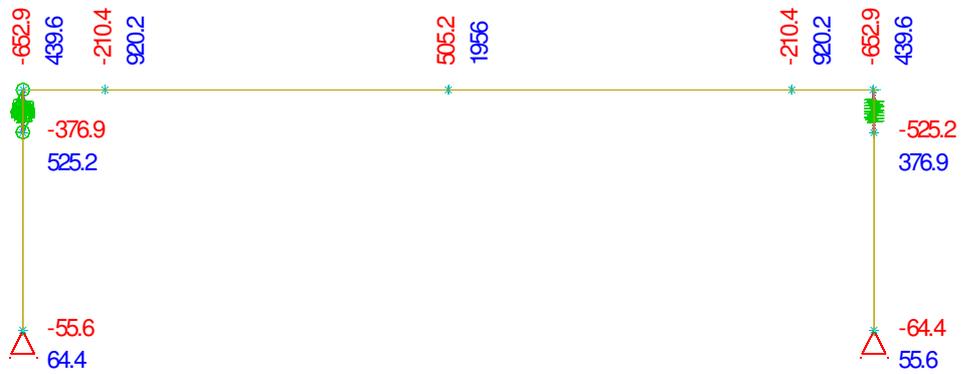


ABBILDUNG A 20: RESULTIERENDE MOMENTE – SYSTEM 3B – EUROCODE, RAHMEN, MAX. BODENKENNWERTE

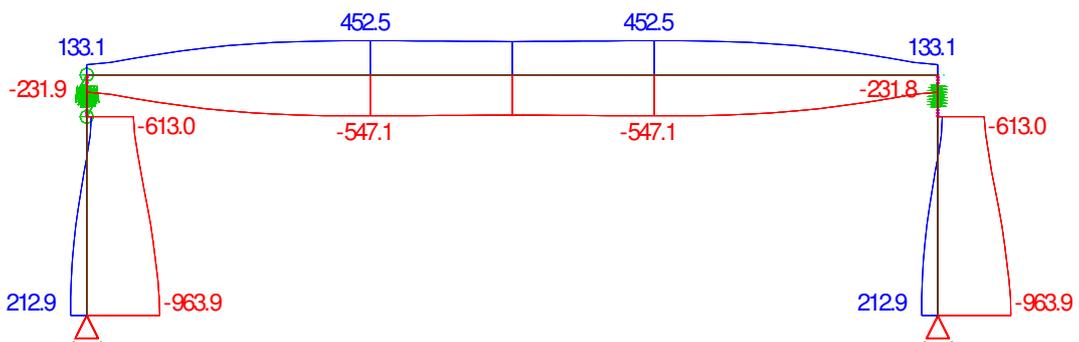


ABBILDUNG A 21: NORMALKRAFTVERLAUF – SYSTEM 3B – EUROCODE, RAHMEN, MAX. BODENKENNWERTE

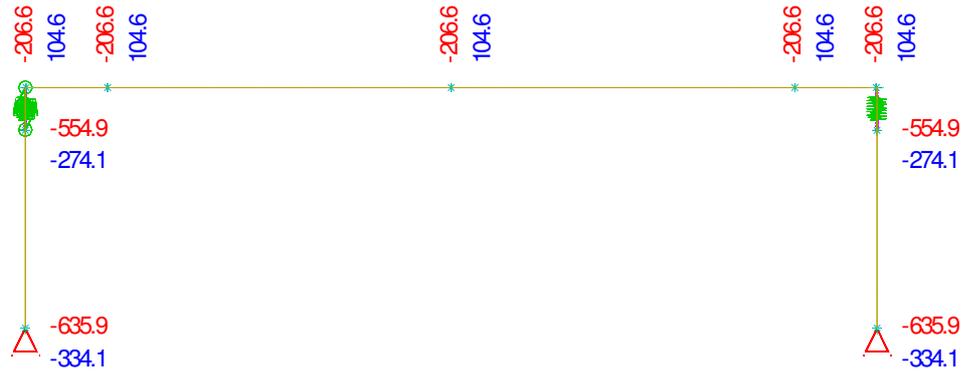


ABBILDUNG A 22: RESULTIERENDE NORMALKRÄFTE – SYSTEM 3B – EUROCODE, RAHMEN, MAX. BODENKENNWERTE

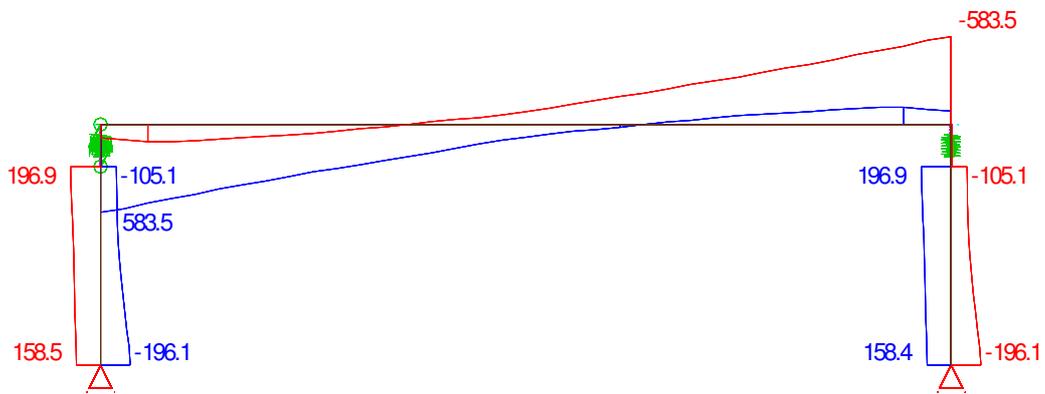


ABBILDUNG A 23: QUERKRAFTVERLAUF – SYSTEM 3B – EUROCODE, RAHMEN, MAX. BODENKENNWERTE

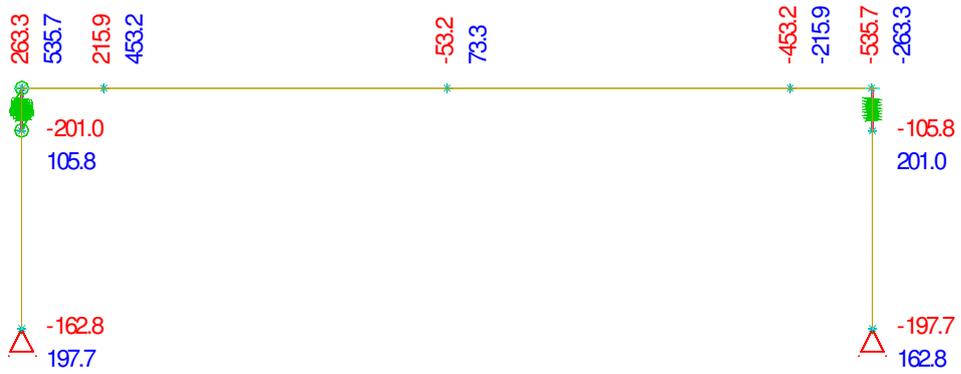


ABBILDUNG A 24: RESULTIERENDE QUERKRÄFTE – SYSTEM 3B – EUROCODE, RAHMEN, MAX. BODENKENNWERTE

## RESULTIERENDE SCHNITTGRÖßEN

---

Die angeführten Ergebniswerte werden gemäß Kapitel 5 ermittelt. Es handelt sich um Werte, welche aus einem integrierten Schnitt über die gesamte Breite des Tragwerks stammen. Diese werden durch die Breite dividiert, somit ergibt sich für Momente die Einheit  $[kNm/lm]$  und für Normal- bzw. Querkräfte  $[kN/lm]$ . Die Ergebnisse werden getrennt für die ULS-Kombination mit Lastmodell 1 bzw. Lastmodell 3 dargestellt.

TABELLE A 1: SYSTEM 1 - ÖNORM, GELENKIG (LASTMODELL 1)

Schnitt	Schnittgröße	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
10	My - max	3	4	5	6	7	8	10
10	My - min	1	2	2	3	4	5	6
10	N - max	0	0	0	0	0	0	0
10	N - min	0	0	0	0	0	0	0
10	Vz - max	250	326	413	515	640	765	904
10	Vz - min	94	142	201	270	348	437	536
11	My - max	175	286	447	648	912	1233	1632
11	My - min	65	125	213	335	497	702	959
11	N - max	0	0	0	0	0	0	0
11	N - min	0	0	0	0	0	0	0
11	Vz - max	223	270	369	438	541	630	763
11	Vz - min	77	116	170	223	294	358	450
12	My - max	502	830	1270	1854	2589	3508	4617
12	My - min	195	369	622	971	1427	2011	2732
12	N - max	0	0	0	0	0	0	0
12	N - min	0	0	0	0	0	0	0
12	Vz - max	37	44	27	55	42	56	40
12	Vz - min	-37	-27	-27	-19	-42	-32	-40
13	My - max	175	286	447	648	912	1233	1632
13	My - min	65	125	213	335	497	702	959
13	N - max	0	0	0	0	0	0	0
13	N - min	0	0	0	0	0	0	0
13	Vz - max	-77	-116	-170	-223	-294	-358	-450
13	Vz - min	-223	-270	-369	-438	-541	-630	-763
14	My - max	3	4	5	6	7	8	10
14	My - min	1	2	2	3	4	5	6
14	N - max	0	0	0	0	0	0	0
14	N - min	0	0	0	0	0	0	0
14	Vz - max	-94	-142	-201	-270	-348	-437	-536
14	Vz - min	-250	-326	-413	-515	-640	-765	-904
20	My - max	188	188	188	189	189	189	189
20	My - min	71	71	71	71	71	71	71
20	N - max	-167	-214	-273	-341	-418	-506	-604
20	N - min	-358	-434	-523	-626	-741	-870	-1012
20	Vz - max	116	116	117	117	117	117	117
20	Vz - min	49	49	49	49	50	50	50
21	My - max	1	2	2	3	4	6	7
21	My - min	0	0	0	1	1	1	2
21	N - max	-101	-150	-211	-281	-360	-450	-549
21	N - min	-270	-348	-440	-545	-663	-794	-938
21	Vz - max	7	8	10	11	13	15	17
21	Vz - min	1	1	2	2	3	4	4
30	My - max	-71	-71	-71	-71	-71	-71	-71
30	My - min	-188	-188	-188	-189	-189	-189	-189
30	N - max	-167	-214	-273	-341	-418	-506	-604
30	N - min	-358	-434	-523	-626	-741	-870	-1012
30	Vz - max	-49	-49	-49	-49	-50	-50	-50
30	Vz - min	-116	-116	-117	-117	-117	-117	-117
31	My - max	0	0	0	-1	-1	-1	-2
31	My - min	-1	-2	-2	-3	-4	-6	-7
31	N - max	-101	-150	-211	-281	-360	-450	-549
31	N - min	-270	-348	-440	-545	-663	-794	-938
31	Vz - max	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4
31	Vz - min	-7	-8	-10	-11	-13	-15	-17

TABELLE A 2: SYSTEM 1 - ÖNORM, GELENKIG (LASTMODELL 3)

Schnitt	Schnittgröße	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
10	My - max	2	3	4	5	6	8	9
10	My - min	1	2	2	3	4	5	6
10	N - max	0	0	0	0	0	0	0
10	N - min	0	0	0	0	0	0	0
10	Vz - max	207	276	359	454	563	688	823
10	Vz - min	94	143	201	270	349	438	536
11	My - max	147	247	388	571	809	1105	1477
11	My - min	67	127	217	338	501	706	963
11	N - max	0	0	0	0	0	0	0
11	N - min	0	0	0	0	0	0	0
11	Vz - max	184	233	317	385	485	571	697
11	Vz - min	85	120	175	224	296	359	449
12	My - max	434	723	1119	1646	2320	3165	4196
12	My - min	197	371	624	973	1430	2013	2734
12	N - max	0	0	0	0	0	0	0
12	N - min	0	0	0	0	0	0	0
12	Vz - max	26	37	30	42	32	46	33
12	Vz - min	-24	-17	-33	-25	-32	-21	-31
13	My - max	148	244	388	572	809	1103	1477
13	My - min	67	127	217	338	501	706	963
13	N - max	0	0	0	0	0	0	0
13	N - min	0	0	0	0	0	0	0
13	Vz - max	-85	-120	-175	-224	-296	-360	-450
13	Vz - min	-187	-237	-312	-383	-485	-570	-697
14	My - max	2	3	4	5	6	8	9
14	My - min	1	2	2	3	4	5	6
14	N - max	0	0	0	0	0	0	0
14	N - min	0	0	0	0	0	0	0
14	Vz - max	-94	-143	-201	-270	-349	-438	-536
14	Vz - min	-206	-276	-359	-454	-564	-687	-821
20	My - max	152	152	152	152	152	153	153
20	My - min	71	71	71	71	71	71	71
20	N - max	-167	-215	-273	-341	-419	-506	-604
20	N - min	-310	-379	-461	-555	-663	-783	-917
20	Vz - max	99	99	99	99	100	100	100
20	Vz - min	49	49	49	49	50	50	50
21	My - max	1	1	2	2	3	4	5
21	My - min	0	0	0	1	1	1	2
21	N - max	-102	-152	-211	-281	-360	-450	-550
21	N - min	-222	-293	-377	-474	-584	-707	-843
21	Vz - max	4	5	6	8	9	10	12
21	Vz - min	1	1	2	2	3	4	4
30	My - max	-71	-71	-71	-71	-71	-71	-71
30	My - min	-152	-152	-152	-152	-152	-153	-153
30	N - max	-167	-215	-273	-341	-419	-506	-604
30	N - min	-310	-379	-461	-555	-663	-783	-917
30	Vz - max	-49	-49	-49	-49	-50	-50	-50
30	Vz - min	-99	-99	-99	-99	-100	-100	-100
31	My - max	0	0	0	-1	-1	-1	-2
31	My - min	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-5
31	N - max	-102	-152	-211	-281	-360	-450	-550
31	N - min	-222	-293	-377	-474	-584	-707	-843
31	Vz - max	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4
31	Vz - min	-4	-5	-6	-8	-9	-10	-12

TABELLE A 3: SYSTEM 2 - EUROCODE, GELENKIG (LASTMODELL 1)

Schnitt	Schnittgröße	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
10	My - max	3	4	5	6	7	8	10
10	My - min	1	2	2	3	4	5	6
10	N - max	0	0	0	0	0	0	0
10	N - min	0	0	0	0	0	0	0
10	Vz - max	256	327	419	523	636	761	903
10	Vz - min	94	143	201	270	349	438	536
11	My - max	185	297	451	650	906	1221	1609
11	My - min	67	127	217	338	501	706	963
11	N - max	0	0	0	0	0	0	0
11	N - min	0	0	0	0	0	0	0
11	Vz - max	235	287	372	442	545	634	762
11	Vz - min	85	120	175	221	294	357	448
12	My - max	540	868	1307	1882	2607	3510	4604
12	My - min	197	371	624	973	1430	2013	2734
12	N - max	0	0	0	0	0	0	0
12	N - min	0	0	0	0	0	0	0
12	Vz - max	41	62	53	66	54	68	54
12	Vz - min	-41	-35	-53	-46	-54	-44	-54
13	My - max	185	297	451	650	906	1221	1609
13	My - min	67	127	217	338	501	706	963
13	N - max	0	0	0	0	0	0	0
13	N - min	0	0	0	0	0	0	0
13	Vz - max	-85	-120	-175	-221	-294	-357	-448
13	Vz - min	-235	-287	-372	-442	-545	-634	-762
14	My - max	3	4	5	6	7	8	10
14	My - min	1	2	2	3	4	5	6
14	N - max	0	0	0	0	0	0	0
14	N - min	0	0	0	0	0	0	0
14	Vz - max	-94	-143	-201	-270	-349	-438	-536
14	Vz - min	-256	-327	-419	-523	-636	-761	-903
20	My - max	173	173	173	173	173	173	173
20	My - min	71	71	71	71	71	71	71
20	N - max	-167	-215	-273	-341	-419	-506	-604
20	N - min	-365	-439	-525	-624	-735	-861	-999
20	Vz - max	108	109	109	109	109	110	110
20	Vz - min	49	49	49	49	50	50	50
21	My - max	1	1	2	3	4	5	6
21	My - min	0	0	0	1	1	1	2
21	N - max	-102	-152	-211	-281	-360	-450	-550
21	N - min	-276	-353	-441	-543	-657	-784	-925
21	Vz - max	6	7	8	10	11	13	15
21	Vz - min	1	1	2	2	3	4	4
30	My - max	-71	-71	-71	-71	-71	-71	-71
30	My - min	-173	-173	-173	-173	-173	-173	-173
30	N - max	-167	-215	-273	-341	-419	-506	-604
30	N - min	-365	-439	-525	-624	-735	-861	-999
30	Vz - max	-49	-49	-49	-49	-50	-50	-50
30	Vz - min	-108	-109	-109	-109	-109	-110	-110
31	My - max	0	0	0	-1	-1	-1	-2
31	My - min	-1	-1	-2	-3	-4	-5	-6
31	N - max	-102	-152	-211	-281	-360	-450	-550
31	N - min	-276	-353	-441	-543	-657	-784	-925
31	Vz - max	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4
31	Vz - min	-6	-7	-8	-10	-11	-13	-15

TABELLE A 4: SYSTEM 2 - EUROCODE, GELENKIG (LASTMODELL 3)

Schnitt	Schnittgröße	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
10	My - max	2	3	4	5	7	8	10
10	My - min	1	2	2	3	4	5	6
10	N - max	0	0	0	0	0	0	0
10	N - min	0	0	0	0	0	0	0
10	Vz - max	190	272	364	473	595	727	877
10	Vz - min	94	143	201	270	349	438	536
11	My - max	135	238	388	586	844	1166	1567
11	My - min	67	127	217	338	501	706	963
11	N - max	0	0	0	0	0	0	0
11	N - min	0	0	0	0	0	0	0
11	Vz - max	173	226	319	393	506	599	739
11	Vz - min	85	120	175	224	296	360	450
12	My - max	388	692	1113	1684	2412	3325	4443
12	My - min	197	371	624	973	1430	2013	2734
12	N - max	0	0	0	0	0	0	0
12	N - min	0	0	0	0	0	0	0
12	Vz - max	12	21	11	41	31	44	30
12	Vz - min	-12	-5	-11	-3	-31	-21	-30
13	My - max	135	238	388	586	844	1166	1567
13	My - min	67	127	217	338	501	706	963
13	N - max	0	0	0	0	0	0	0
13	N - min	0	0	0	0	0	0	0
13	Vz - max	-85	-120	-175	-224	-296	-360	-450
13	Vz - min	-173	-226	-319	-393	-506	-599	-739
14	My - max	2	3	4	5	7	8	10
14	My - min	1	2	2	3	4	5	6
14	N - max	0	0	0	0	0	0	0
14	N - min	0	0	0	0	0	0	0
14	Vz - max	-94	-143	-201	-270	-349	-438	-536
14	Vz - min	-190	-272	-364	-473	-595	-727	-877
20	My - max	144	144	144	144	144	144	144
20	My - min	71	71	71	71	71	71	71
20	N - max	-167	-215	-273	-341	-419	-506	-604
20	N - min	-289	-373	-465	-569	-689	-820	-969
20	Vz - max	95	95	95	95	95	96	96
20	Vz - min	49	49	49	49	50	50	50
21	My - max	1	1	1	2	3	3	4
21	My - min	0	0	0	1	1	1	2
21	N - max	-102	-152	-211	-281	-360	-450	-550
21	N - min	-201	-287	-382	-488	-610	-744	-896
21	Vz - max	4	5	6	7	8	9	11
21	Vz - min	1	1	2	2	3	4	4
30	My - max	-71	-71	-71	-71	-71	-71	-71
30	My - min	-144	-144	-144	-144	-144	-144	-144
30	N - max	-167	-215	-273	-341	-419	-506	-604
30	N - min	-289	-373	-465	-569	-689	-820	-969
30	Vz - max	-49	-49	-49	-49	-50	-50	-50
30	Vz - min	-95	-95	-95	-95	-95	-96	-96
31	My - max	0	0	0	-1	-1	-1	-2
31	My - min	-1	-1	-1	-2	-3	-3	-4
31	N - max	-102	-152	-211	-281	-360	-450	-550
31	N - min	-201	-287	-382	-488	-610	-744	-896
31	Vz - max	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4
31	Vz - min	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-11

TABELLE A 5: SYSTEM 3A - EUROCODE, RAHMEN, MIN. BODENKENNWERTE (LASTMODELL 1)

Schnitt	Schnittgröße	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
10	My - max	185	233	298	426	588	787	1027
10	My - min	-288	-375	-497	-641	-810	-1007	-1238
10	N - max	23	36	55	89	130	181	242
10	N - min	-102	-124	-155	-193	-236	-287	-347
10	Vz - max	274	343	432	536	649	774	915
10	Vz - min	77	129	191	262	343	433	533
11	My - max	262	401	599	905	1301	1792	2397
11	My - min	-150	-176	-193	-198	-189	-164	-123
11	N - max	23	36	55	89	130	181	242
11	N - min	-102	-124	-155	-193	-236	-287	-347
11	Vz - max	253	301	385	454	557	645	773
11	Vz - min	67	106	164	215	290	354	446
12	My - max	491	821	1280	1937	2777	3829	5111
12	My - min	67	157	303	521	821	1218	1720
12	N - max	23	36	55	89	130	181	242
12	N - min	-102	-124	-155	-193	-236	-287	-347
12	Vz - max	55	74	63	74	62	75	60
12	Vz - min	-55	-47	-63	-54	-62	-51	-60
13	My - max	262	401	599	905	1301	1792	2397
13	My - min	-150	-176	-193	-198	-189	-164	-123
13	N - max	23	36	55	89	130	181	242
13	N - min	-102	-124	-155	-193	-236	-287	-347
13	Vz - max	-67	-106	-164	-215	-290	-354	-446
13	Vz - min	-253	-301	-385	-454	-557	-645	-773
14	My - max	185	233	298	426	588	787	1027
14	My - min	-288	-375	-497	-641	-810	-1007	-1238
14	N - max	23	36	55	89	130	181	242
14	N - min	-102	-124	-155	-193	-236	-287	-347
14	Vz - max	-77	-129	-191	-262	-343	-433	-533
14	Vz - min	-274	-343	-432	-536	-649	-774	-915
20	My - max	8	9	11	13	14	16	18
20	My - min	-7	-8	-9	-11	-12	-13	-15
20	N - max	-150	-202	-263	-333	-413	-502	-601
20	N - min	-382	-454	-539	-637	-748	-873	-1011
20	Vz - max	118	130	149	181	222	273	333
20	Vz - min	-59	-81	-112	-149	-192	-242	-300
21	My - max	257	325	418	523	641	773	920
21	My - min	-182	-223	-274	-375	-496	-636	-798
21	N - max	-85	-138	-201	-273	-354	-446	-547
21	N - min	-294	-368	-455	-556	-670	-797	-938
21	Vz - max	24	37	56	90	132	183	244
21	Vz - min	-98	-120	-151	-187	-230	-279	-337
30	My - max	7	8	9	11	12	13	15
30	My - min	-8	-9	-11	-13	-14	-16	-18
30	N - max	-150	-202	-263	-333	-413	-502	-601
30	N - min	-382	-454	-539	-637	-748	-873	-1011
30	Vz - max	59	81	112	149	192	242	300
30	Vz - min	-118	-130	-149	-181	-222	-273	-333
31	My - max	182	223	274	375	496	636	798
31	My - min	-257	-325	-418	-523	-641	-773	-920
31	N - max	-85	-138	-201	-273	-354	-446	-547
31	N - min	-294	-368	-455	-556	-670	-797	-938
31	Vz - max	98	120	151	187	230	279	337
31	Vz - min	-24	-37	-56	-90	-132	-183	-244

TABELLE A 6: SYSTEM 3A - EUROCODE, RAHMEN, MIN. BODENKENNWERTE (LASTMODELL 3)

Schnitt	Schnittgröße	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
10	My - max	178	226	292	421	583	781	1022
10	My - min	-210	-295	-394	-515	-674	-863	-1086
10	N - max	23	36	55	89	130	181	242
10	N - min	-79	-102	-128	-160	-201	-250	-307
10	Vz - max	206	286	376	485	606	738	889
10	Vz - min	80	132	194	264	344	435	534
11	My - max	251	378	561	852	1231	1705	2290
11	My - min	-103	-125	-140	-148	-142	-123	-85
11	N - max	23	36	55	89	130	181	242
11	N - min	-79	-102	-128	-160	-201	-250	-307
11	Vz - max	188	239	331	404	517	610	750
11	Vz - min	70	109	166	217	292	356	448
12	My - max	393	689	1118	1736	2530	3534	4763
12	My - min	69	160	306	524	825	1222	1724
12	N - max	23	36	55	89	130	181	242
12	N - min	-79	-102	-128	-160	-201	-250	-307
12	Vz - max	25	32	20	49	38	49	35
12	Vz - min	-25	-15	-20	-10	-38	-26	-35
13	My - max	251	378	561	852	1231	1705	2290
13	My - min	-103	-125	-140	-148	-142	-123	-85
13	N - max	23	36	55	89	130	181	242
13	N - min	-79	-102	-128	-160	-201	-250	-307
13	Vz - max	-70	-109	-166	-217	-292	-356	-448
13	Vz - min	-188	-239	-331	-404	-517	-610	-750
14	My - max	178	226	292	421	583	781	1022
14	My - min	-210	-295	-394	-515	-674	-863	-1086
14	N - max	23	36	55	89	130	181	242
14	N - min	-79	-102	-128	-160	-201	-250	-307
14	Vz - max	-80	-132	-194	-264	-344	-435	-534
14	Vz - min	-206	-286	-376	-485	-606	-738	-889
20	My - max	8	9	11	12	14	16	18
20	My - min	-7	-8	-9	-10	-12	-13	-14
20	N - max	-153	-205	-265	-335	-414	-504	-603
20	N - min	-305	-386	-478	-581	-701	-831	-981
20	Vz - max	113	125	144	176	217	268	328
20	Vz - min	-39	-60	-85	-117	-157	-205	-262
21	My - max	187	255	331	419	533	661	806
21	My - min	-175	-216	-267	-368	-489	-630	-791
21	N - max	-88	-141	-203	-275	-356	-447	-548
21	N - min	-217	-300	-395	-500	-622	-755	-907
21	Vz - max	24	37	56	90	132	183	244
21	Vz - min	-77	-99	-124	-155	-195	-243	-298
30	My - max	7	8	9	10	12	13	14
30	My - min	-8	-9	-11	-12	-14	-16	-18
30	N - max	-153	-205	-265	-335	-414	-504	-603
30	N - min	-305	-386	-478	-581	-701	-831	-981
30	Vz - max	39	60	85	117	157	205	262
30	Vz - min	-113	-125	-144	-176	-217	-268	-328
31	My - max	175	216	267	368	489	630	791
31	My - min	-187	-255	-331	-419	-533	-661	-806
31	N - max	-88	-141	-203	-275	-356	-447	-548
31	N - min	-217	-300	-395	-500	-622	-755	-907
31	Vz - max	77	99	124	155	195	243	298
31	Vz - min	-24	-37	-56	-90	-132	-183	-244

TABELLE A 7: SYSTEM 3B - EUROCODE, RAHMEN, MAX. BODENKENNWERTE (LASTMODELL 1)

Schnitt	Schnittgröße	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
10	My - max	176	226	304	440	610	818	1070
10	My - min	-283	-376	-503	-653	-829	-1035	-1275
10	N - max	24	39	68	105	150	206	272
10	N - min	-105	-131	-166	-207	-254	-309	-373
10	Vz - max	272	342	432	536	648	773	915
10	Vz - min	79	131	193	263	344	434	534
11	My - max	256	396	607	920	1324	1824	2440
11	My - min	-148	-178	-199	-210	-208	-192	-160
11	N - max	24	39	68	105	150	206	272
11	N - min	-105	-131	-166	-207	-254	-309	-373
11	Vz - max	251	300	384	453	557	645	773
11	Vz - min	70	108	165	216	290	355	447
12	My - max	492	822	1293	1956	2804	3865	5158
12	My - min	63	151	293	505	799	1188	1680
12	N - max	24	39	68	105	150	206	272
12	N - min	-105	-131	-166	-207	-254	-309	-373
12	Vz - max	53	72	62	73	61	74	60
12	Vz - min	-53	-45	-62	-53	-61	-50	-60
13	My - max	256	396	607	920	1324	1824	2440
13	My - min	-148	-178	-199	-210	-208	-192	-160
13	N - max	24	39	68	105	150	206	272
13	N - min	-105	-131	-166	-207	-254	-309	-373
13	Vz - max	-70	-108	-165	-216	-290	-355	-447
13	Vz - min	-251	-300	-384	-453	-557	-645	-773
14	My - max	176	226	304	440	610	818	1070
14	My - min	-283	-376	-503	-653	-829	-1035	-1275
14	N - max	24	39	68	105	150	206	272
14	N - min	-105	-131	-166	-207	-254	-309	-373
14	Vz - max	-79	-131	-193	-263	-344	-434	-534
14	Vz - min	-272	-342	-432	-536	-648	-773	-915
20	My - max	40	47	55	64	75	85	97
20	My - min	-35	-41	-48	-56	-64	-73	-83
20	N - max	-153	-204	-264	-334	-414	-503	-602
20	N - min	-381	-453	-538	-636	-748	-873	-1011
20	Vz - max	120	133	161	198	243	298	364
20	Vz - min	-62	-89	-123	-163	-209	-264	-327
21	My - max	250	321	417	525	646	781	931
21	My - min	-173	-215	-273	-377	-501	-645	-810
21	N - max	-87	-140	-202	-274	-355	-446	-547
21	N - min	-292	-367	-454	-555	-669	-796	-937
21	Vz - max	25	40	69	106	152	208	275
21	Vz - min	-102	-128	-161	-201	-247	-301	-363
30	My - max	35	41	48	56	64	73	83
30	My - min	-40	-47	-55	-64	-75	-85	-97
30	N - max	-153	-204	-264	-334	-414	-503	-602
30	N - min	-381	-453	-538	-636	-748	-873	-1011
30	Vz - max	62	89	123	163	209	264	327
30	Vz - min	-120	-133	-161	-198	-243	-298	-364
31	My - max	173	215	273	377	501	645	810
31	My - min	-250	-321	-417	-525	-646	-781	-931
31	N - max	-87	-140	-202	-274	-355	-446	-547
31	N - min	-292	-367	-454	-555	-669	-796	-937
31	Vz - max	102	128	161	201	247	301	363
31	Vz - min	-25	-40	-69	-106	-152	-208	-275

TABELLE A 8: SYSTEM 3B - EUROCODE, RAHMEN, MAX. BODENKENNWERTE (LASTMODELL 3)

Schnitt	Schnittgröße	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
10	My - max	171	221	299	435	605	814	1066
10	My - min	-206	-293	-395	-525	-691	-889	-1121
10	N - max	24	39	68	105	150	206	272
10	N - min	-83	-106	-135	-173	-218	-270	-332
10	Vz - max	204	285	375	484	606	738	889
10	Vz - min	82	134	195	265	345	435	535
11	My - max	246	373	570	867	1254	1738	2334
11	My - min	-100	-126	-146	-160	-160	-149	-121
11	N - max	24	39	68	105	150	206	272
11	N - min	-83	-106	-135	-173	-218	-270	-332
11	Vz - max	186	238	330	403	516	609	749
11	Vz - min	73	111	167	218	292	357	448
12	My - max	393	689	1126	1746	2545	3554	4790
12	My - min	65	153	295	508	802	1192	1684
12	N - max	24	39	68	105	150	206	272
12	N - min	-83	-106	-135	-173	-218	-270	-332
12	Vz - max	23	30	19	48	37	49	35
12	Vz - min	-23	-14	-19	-10	-37	-26	-35
13	My - max	246	373	570	867	1254	1738	2334
13	My - min	-100	-126	-146	-160	-160	-149	-121
13	N - max	24	39	68	105	150	206	272
13	N - min	-83	-106	-135	-173	-218	-270	-332
13	Vz - max	-73	-111	-167	-218	-292	-357	-448
13	Vz - min	-186	-238	-330	-403	-516	-609	-749
14	My - max	171	221	299	435	605	814	1066
14	My - min	-206	-293	-395	-525	-691	-889	-1121
14	N - max	24	39	68	105	150	206	272
14	N - min	-83	-106	-135	-173	-218	-270	-332
14	Vz - max	-82	-134	-195	-265	-345	-435	-535
14	Vz - min	-204	-285	-375	-484	-606	-738	-889
20	My - max	39	46	54	63	74	85	96
20	My - min	-32	-38	-45	-53	-61	-70	-80
20	N - max	-156	-206	-266	-336	-415	-504	-603
20	N - min	-303	-385	-477	-580	-700	-831	-981
20	Vz - max	114	128	156	193	238	293	359
20	Vz - min	-42	-65	-93	-130	-174	-226	-287
21	My - max	181	251	328	420	536	668	816
21	My - min	-167	-209	-267	-371	-495	-639	-804
21	N - max	-90	-143	-205	-276	-357	-448	-548
21	N - min	-215	-299	-394	-499	-621	-755	-907
21	Vz - max	25	40	69	106	152	208	275
21	Vz - min	-80	-103	-131	-168	-212	-263	-323
30	My - max	32	38	45	53	61	70	80
30	My - min	-39	-46	-54	-63	-74	-85	-96
30	N - max	-156	-206	-266	-336	-415	-504	-603
30	N - min	-303	-385	-477	-580	-700	-831	-981
30	Vz - max	42	65	93	130	174	226	287
30	Vz - min	-114	-128	-156	-193	-238	-293	-359
31	My - max	167	209	267	371	495	639	804
31	My - min	-181	-251	-328	-420	-536	-668	-816
31	N - max	-90	-143	-205	-276	-357	-448	-548
31	N - min	-215	-299	-394	-499	-621	-755	-907
31	Vz - max	80	103	131	168	212	263	323
31	Vz - min	-25	-40	-69	-106	-152	-208	-275