



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze (N)

Dokumentation

Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten

Ausgabe 2006

Dokumentation

Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten

Forschungsauftrag 2002/005 auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung

Ausgabe 2006

Impressum

Autor(en)

Forschungsstelle: ICOM EPF-Lausanne
Thierry Meystre, ing. civil dipl. EPFL
Manfred A. Hirt, Prof., Dr. sc. Techn., ing. civil dipl. EPFZ/SIA
Übersetzung: Tamar Sommerstein

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze (N), 3003 Bern

Ort, Jahr

Bern, 2006

Bezugsquelle

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern, www.bbl.ch
Art-Nr.: 806.328.d
Die Dokumentation kann kostenlos von www.astra.admin.ch herunter geladen werden.

Preis (gedruckte Version)

CHF 60.-

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en)

© ASTRA 2006, Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet.

VORWORT

In den 80er Jahren fand eine wichtige Überarbeitung der Norm SIA 160, und somit auch des Abschnitts der Verkehrslasten, statt. Die während dieser Zeit getätigten Arbeiten ermöglichten, dass in der Ausgabe von 1989 ein komplett neues Modell der Strassenlasten, basierend auf Verkehrsmesswerten, präsentiert werden konnte.

Die neuen Bestimmungen über den Landverkehr öffneten der Schweiz die Tore zum europäischen Strassentransportmarkt. Die zulässige Gewichtslimite des Schwerverkehrs in der Schweiz wurde kontinuierlich auf 40 Tonnen erhöht. Gleichzeitig wurden die schweizer Tragwerksnormen dem Eurocode angepasst.

Bei den Anpassungen der Normen wurde aber kein zusammenhängendes Konzept aufgestellt, welches auch die Überprüfung bestehender Strassenbrücken miteinbezogen hätte. Tatsache ist, dass sich die Norm SIA 261 (2003) hauptsächlich mit der Bemessung neuer Strukturen beschäftigt. Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) hat nun beschlossen, diese Lücke mit Hilfe der Forschung zu schliessen und zwar primär mit Hilfe der Erstellung aktueller Lastmodelle, welche zur Bewertung der Systemsicherheit bestehender Brücken dient.

Der folgende Bericht fasst die Ergebnisse der Studie zusammen, welche sich mit der Entwicklung eines Lastmodells für den Strassenverkehr inklusive den LKWs bis zu 40 Tonnen beschäftigt. Als Grundlage für diese Studie dienten Angaben aus aktuellen Messungen des effektiven schweizer Strassenverkehrs. Das entwickelte Modell bezieht sich auf die aktuelle Norm 261, wobei die α -Beiwerte in Abhängigkeit des Brückentyps angepasst wurden. Damit hat der Ingenieur bei der Überprüfung einer bestehenden Brücke dank der Anwendung dieser aktualisierten Faktoren ein direktes Arbeitsutensil. Das Kapitel 6 stellt das aktualisierte Modell und seinen Anwendungsbereich vor.

Ausserdem können die Lastfaktoren für das Eigengewicht und die ständigen Lasten von Brücken [ASTRA, 1998] für die Überprüfung aktualisiert werden, sofern die Anwendungsbedingungen respektiert werden.

Wir möchten dem Bundesamt für Strassen für sein Vertrauen bei der Übertragung dieser Forschungsarbeit an uns, sowie für die finanzielle Unterstützung die wir erhalten haben, danken. Gleichzeitig möchten wir unsere Anerkennung an die Begleitkommission des ASTRA aussprechen, vertreten durch den Präsidenten Herrn P. Matt, M. Donzel, H. Figi, Prof. Dr. A. Muttoni, W. Schuler und Dr. D. Somaini, für die exzellente Beratung und das Interesse welches unserer Arbeit entgegengebracht wurde.

Wir möchten uns ebenfalls bei all den wissenschaftlichen Mitarbeitern bedanken, die einen Beitrag an diese Studie geleistet haben. Dies sind: Luis Borges, Danijel Mocibob, Claire Scholtès und Thomas Vollmar.

EPFL-ICOM, März 2006

Prof. Dr. Manfred A. Hirt

Adresse der Forschungsstelle

Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

Laboratoire de la construction métallique (ICOM)

GC B3 505, Station 18

CH-1015 Lausanne

E-Mail : icom@epfl.ch

Homepage : <http://icom.epfl.ch>

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieses Forschungsauftrages ist die Erstellung eines Lastmodells für « den Schweizerverkehr » mit einem zulässigen Gesamtgewicht der Lastwagen von 40 Tonnen*. Das Lastmodell dient zur Überprüfung bestehender, zweispuriger Strassenbrücken (mit Gegenverkehr) und zweispurige Autobahnbrücken (ohne Gegenverkehr).

In der Vergangenheit wurden bereits verschiedene Studien in diesem Bereich durchgeführt und aktualisierte Verkehrsmodelle entwickelt. Mit dem in Kraft treten der neuen Norm SIA 261 im Jahre 2003 wurde die Erstellung von neuen Lastmodellen erforderlich, um den neuen Gegebenheiten gerecht zu werden.

Das schweizer Strassennetz ist mit automatischen Wägestationen ausgerüstet, welche das ganze Jahr hindurch, 24 Stunden pro Tag, Messdaten liefern. Die erste Etappe dieser Untersuchung bestand darin diese Messungen zu analysieren, um ein Verkehrsmodell zu entwickeln, welches so gut wie möglich dem wirklichen Verkehr entspricht. Für diesen Zweck wurde ein Programm zur Verarbeitung der Messdaten entwickelt. Somit konnte der Verkehr an verschiedenen Messstationen in der Schweiz modelliert und verglichen werden.

In der zweiten Etappe wurde ein anpassungsfähiges Simulationsprogramm für den Verkehr entwickelt. Mit diesem Programm konnte der Verkehr auf verschiedenen Brückentypen simuliert werden. Verschiedene Brückenquerschnitte (Kasten- und Plattenbrücke, zwei- oder mehrstegige Brücke), verschiedene statische Systeme und unterschiedliche Spannweiten wurden für unterschiedlichen Verkehr untersucht. Für sämtliche der behandelten Fälle lieferte das Programm die statistische Verteilung der innerhalb einer definierten Simulationszeit berechneten, maximalen Schnittkräfte. Hierbei wurde ein dynamischer Beiwert berücksichtigt, der in Abhängigkeit der Gesamtlast auf der Einflusslinie, variiert.

Die Schnittkräfte der Simulationen wurden in der dritten Etappe mit den Bemessungswerten der Auswirkungen infolge der Strassenlasten gemäss Norm SIA 261 verglichen. Es wurde festgestellt, dass die Schnittkräfte der Simulationen aufgrund eines im Jahre 2003 gemessenen Verkehrs insgesamt 50% tiefer sind, als die mit dem Verkehrsmodell der Norm SIA 261 berechneten Werte. Die neue Norm weist somit eine erhebliche Reserve gegenüber dem heutigen Verkehr auf.

Um die zukünftige Entwicklung des Verkehrs in 15 bis 20 Jahren zu berücksichtigen, wurden verschiedene Annahmen getroffen. Aufgrund parametrischer Untersuchungen wurden Margen auf die Simulationsresultate festgelegt, welche die Entwicklung des Verkehrs im aktualisierten Modell berücksichtigen.

Das vorgeschlagene aktualisierte Modell der Strassenlasten wurde aufgrund des Lastmodells der Norm SIA 261 mit aktualisierten α -Beiwerten definiert. Diese Beiwerte wurden anhand des Vergleichs zwischen den resultierenden Schnittkräften der Simulationen, unter Berücksichtigung der notwendigen Margen, und den berechneten Auswirkungen infolge der Normlasten bestimmt. Da die Resultate relativ konstant sind, konnte ein einfaches aktualisiertes Modell erstellt werden. Die vorgeschlagenen α -Beiwerte sind nämlich sozusagen unabhängig von der Spannweite, von der Schnittgrösse und vom Strassentyp. Deswegen wurde nur die Abhängigkeit vom Brückentyp berücksichtigt.

Diese Untersuchung zeigte, dass die Norm SIA 261 zur Überprüfung bestehender, zweispuriger Strassen- und Autobahnbrücken für den zu erwartenden Verkehr in den kommenden 15 bis 20 Jahren konservativ ist, weshalb ein aktualisiertes Lastmodell zur Überprüfung bestehender Bauwerke erstellt werden konnte. Die Resultate dieser Studie liefern deshalb ein wertvolles Werkzeug für die verantwortlichen Brückeningenieure und die für die Überprüfung bestehender Brücken beauftragten Ingenieure.

* 40-Tonnen-Verkehr bedeutet: Strassenverkehr bestehend aus Lastwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 Tonnen. Dieser Verkehr beinhaltet allerdings auch Lastwagen schwerer als 40 Tonnen, sei es infolge von Überlast oder Lastwagen mit spezieller Bewilligung.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	ZIELSETZUNG	1
1.2	GRUNDSÄTZLICHES VORGEHEN DER ÜBERPRÜFUNG	1
1.3	ZIELE UND GRENZEN DES FORSCHUNGS-AUFTRAGS	2
1.4	VORGEHENSWEISE	3
1.4.1	<i>Aktuelle Normen</i>	3
1.4.2	<i>Vorgehen bei den Simulationen</i>	3
1.4.3	<i>Berücksichtigter Verkehr</i>	3
1.4.4	<i>Vorgehen beim aktualisierten Modell</i>	4
2	GRUNDLAGEN UND ANNAHMEN	5
2.1	FAHRBAHN UND TRAGSTRUKTUR	5
2.1.1	<i>Anordnung der Fahrbahn</i>	5
2.1.2	<i>Brückenquerschnitt</i>	6
2.1.3	<i>Statisches System in Längsrichtung</i>	7
2.1.4	<i>Schnittkräfte</i>	8
2.2	MODELLIERUNG DES VERKEHRS	8
2.2.1	<i>Verkehrsmessungen</i>	9
2.2.2	<i>Fahrzeugtypen</i>	10
2.2.3	<i>Verkehrszusammensetzung</i>	10
2.2.4	<i>Verkehrsvolumen</i>	11
2.3	MODELLIERUNG DER FAHRZEUGE	12
2.3.1	<i>Totales Gewicht</i>	12
2.3.2	<i>Achslasten</i>	13
2.3.3	<i>Dynamische Auswirkung</i>	14
2.3.4	<i>Geometrie</i>	14
2.3.5	<i>Deterministisches Modell</i>	15
2.4	MODELLIERUNG DES ZIRKULIERENDEN VERKEHRS	16
2.4.1	<i>Verkehrszustände</i>	16
2.4.2	<i>Distanz zwischen den Fahrzeugen</i>	16
2.4.3	<i>Aufteilung auf die Fahrstreifen</i>	17
3	SIMULATION DES VERKEHRS	19
3.1	DYNAMISCHER BEIWERT	19
3.2	ANZAHL DER SIMULIERTEN FAHRZEUGE	20
3.3	ANZAHL DER SIMULATIONEN	20
3.4	BEMESSUNGSWERT	21
3.5	SIMULIERTER VERKEHR.....	21
3.6	DETERMINISTISCHE BERECHNUNG	22
4	VERGLEICH ZWISCHEN DEN SIMULATIONEN UND DER NORM	23
4.1	VORGEHEN BEIM VERGLEICH	23
4.2	KASTENBRÜCKEN	23
4.3	ZWEISTEGIGE BRÜCKEN	25
4.4	MEHRSTEGIGE BRÜCKEN	27
4.5	PLATTENBRÜCKEN	28
4.6	SITUATION AUTOBAHN MIT BAUSTELLE	29
4.7	DYNAMISCHER BEIWERT	30
4.8	VERKEHRSENTWICKLUNG.....	31

4.8.1	<i>Prozentsatz an Schwerverkehr</i>	31
4.8.2	<i>Zusammensetzung und totales Gewicht</i>	32
4.8.3	<i>44 Tonnen Fahrzeuge</i>	33
5	ERSTELLEN DES LASTMODELLS	35
5.1	MARGEN.....	35
5.2	MODELLFAKTOR	35
5.3	WAHL DES AKTUALISIERTEN MODELLS	36
5.4	α -BEIWERTE.....	36
6	ÜBERPRÜFUNG BESTEHENDER STRASSENBRÜCKEN	39
6.1	VORGEHEN	39
6.2	LASTMODELL	41
6.3	ANWENDUNGSBEREICH.....	42
6.4	AKTUALISIERTE α -BEIWERTE.....	43
6.5	ZUSAMMENFASSUNG DER ANNAHMEN.....	43
	LITERATURVERZEICHNIS	47
	ANHANG	49
A.1	METHODE ZUR AUFTEILUNG DER FAHRZEUGE IN KLASSEN	49
A.2	BERECHNUNGSMETHODE FÜR DIE VERKEHRZUSAMMENSETZUNG	49
A.3	VERKEHRZUSAMMENSETZUNG	52
A.4	VERTEILUNG DES TOTALEN GEWICHTS	53
A.5	ACHSLASTEN.....	60
A.6	MARGEN DES AKTUALISIERTEN MODELLS	64
	A.6.1 <i>Kastenbrücke</i>	64
	A.6.2 <i>Zweistegige Brücke</i>	66
	A.6.3 <i>Mehrstegige Brücke</i>	68
	A.6.4 <i>Plattenbrücke</i>	68
A.7	DYNAMISCHER BEIWERT	71
A.8	VERGLEICH ZWISCHEN DER NORM SIA 160 UND DEM AKTUALISIERTEN MODELL	72
A.9	ZULÄSSIGES GESAMTGEWICHT UND AUSNAHMEFAHRZEUGE.....	73
A.10	PNEUKRANE BIS 96 TONNEN.....	77
	A.10.1 <i>Einleitung</i>	77
	A.10.2 <i>Annahmen</i>	77
	A.10.3 <i>Resultate</i>	78
	A.10.4 <i>Aktualisiertes Lastmodell</i>	79
	A.10.5 <i>Vergleich mit dem Modell 3 Typ III der Norm SIA 261/1 (2003)</i>	79
	A.10.6 <i>Margen des aktualisierten Lastmodells</i>	80

1 EINLEITUNG

1.1 ZIELSETZUNG

Die Tragwerksnormen haben sich in den letzten Jahrzehnten bedeutend weiter entwickelt. Dies führt dazu, dass gewisse Strassenbrücken den neuen Sicherheitsanforderungen der aktuellen Normen nicht mehr genügen. Das muss für den überprüfenden Ingenieur nicht unbedingt heissen, dass die Brücke verstärkt, ersetzt oder eine Einschränkung der Nutzung eingeführt werden muss. Dank einer besseren Kenntnis der effektiv aufgebrachten Lasten und des wirklichen Tragwiderstandes der Struktur ist es häufig möglich die Nutzungsdauer des Bauwerkes ohne besondere Kosten zu erhöhen.

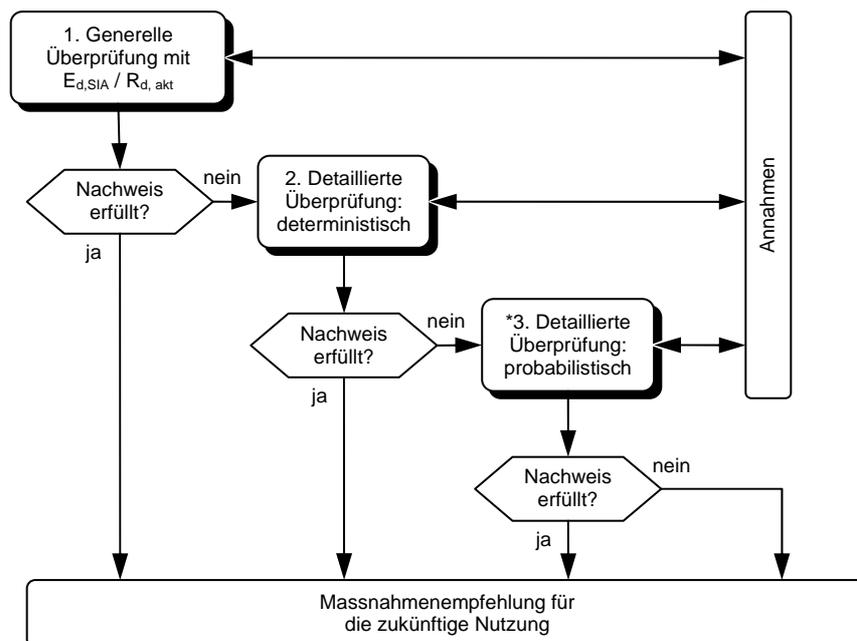
Die wichtigsten Einwirkungen einer Strassenbrücke sind das Eigengewicht, die ständigen Lasten und die Verkehrslasten. Die letzteren bilden den Hauptbestandteil dieses Berichtes. Für die Berücksichtigung des Eigengewichts und der ständigen Lasten wird der Leser auf den Bericht [ASTRA, 1998] verwiesen.

Das schweizer Strassennetz ist mit automatischen Zählsystemen und Wägestationen (WIM = Weigh In Motion) ausgerüstet. Durch die Analyse von Daten aus diversen Quellen können die erforderlichen Kenntnisse über den wirklich auftretenden Verkehr erhalten werden. Damit kann ein Modell erstellt werden, welches zur Überprüfung der Struktur erforderlich ist.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist, aufgrund von Daten aus den schweizer Wägestationen, ein aktualisiertes Lastmodell zur Überprüfung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke zu erstellen.

1.2 GRUNDSÄTZLICHES VORGEHEN DER ÜBERPRÜFUNG

Die Überprüfung der Tragsicherheit eines Bauwerks kann in mehreren Stufen durchgeführt werden. Falls die erste Stufe der Überprüfung kein positives Resultat ergibt, kann eine zweite Stufe durchgeführt werden, bei der für die Berechnung sowohl auf der Einwirkungs- wie auch auf der Widerstandsseite aktualisierte Werte eingesetzt werden. Ergibt auch die zweite Stufe kein zufrieden stellendes Resultat, unter der Berücksichtigung zusätzlicher Kenntnisse über den untersuchten Fall, eine probabilistische Analyse durchgeführt werden. In Bild 1.1 ist das Prinzip der Überprüfung schematisch dargestellt.



* Diese Überprüfung soll nur durchgeführt werden, wenn der Nutzen den notwendigen Aufwand rechtfertigt

Bild 1.1 – Stufenweises Vorgehen bei der Überprüfung bestehender Brücken

1. Stufe: Generelle Überprüfung

Anhand der aktuellen Tragwerksnormen kann sich der Ingenieur eine Idee der Tragsicherheit der zu untersuchenden Brücke machen. Diese Vorgehensweise auf der Einwirkungsseite entspricht derjenigen der Bemessung neuer Tragwerke und sollte dem Ingenieur somit bekannt sein. Die Widerstandsseite wird aufgrund von aktualisierten Werten der Baustoffeigenschaften auf der Basis von sorgfältig durchgeführten visuellen und eventuell zerstörungsfreien Prüfungen festgelegt. Diese erste Stufe hat den Vorteil, dass die Kontruktionselemente oder die für die Überprüfung massgebenden Bereiche relativ schnell identifiziert werden können.

2. Stufe: Detaillierte Überprüfung: deterministisch

Für die zweite Stufe der Überprüfung werden sowohl für die Einwirkungen als auch für den Widerstand aktualisierte Werte eingesetzt. Diese Werte müssen in der mit dem Bauherrn zusammen festgelegten Nutzungsvereinbarung definiert werden. Die aktualisierten Daten zur Überprüfung einer bestehenden Brücke können aus den folgenden Berichten entnommen werden :

- Für die Strassenlasten kann das in diesem Bericht vorgeschlagene, aktualisierte Lastmodell angewendet werden.
- Für das Eigengewicht und die ständigen Lasten können die aktualisierten Lastfaktoren nach dem Bericht [ASTRA, 1998] bestimmt werden.

3. Stufe: Detaillierte Überprüfung: probabilistisch

Für den Nachweis der Tragsicherheit kann eine probabilistische Analyse zweckmässig, nötig oder von wirtschaftlichem Interesse sein. Die für diese Analyse erforderlichen, statistischen Daten können durch Messungen am Tragwerk selbst erhalten werden.

Das stufenweise Vorgehen der Überprüfung bringt den wesentlichen Vorteil, dass die Überprüfung zuerst mit den gewohnten Berechnungsannahmen durchgeführt werden kann. Die Annahmen und Berechnungen müssen nur in den Fällen verfeinert werden, wo es nötig oder von wirtschaftlichem Interesse ist.

Jede Überprüfung muss mit einer Massnahmenempfehlung für die zukünftige Nutzung abgeschlossen werden (Bild 1.1). Im Falle eines Ersatzes muss die Bemessung entsprechend den aktuellen Normen durchgeführt werden. Ist eine Verstärkung des Tragwerkes erforderlich, wird diese grundsätzlich ebenfalls nach den aktuellen Normen durchgeführt. Bei einer Verbreiterung wird diese gemäss den aktuellen Normen bemessen, die alten Teile können hingegen aufgrund aktualisierter Daten beurteilt werden.

1.3 ZIELE UND GRENZEN DES FORSCHUNGSaufTRAGS

Ziel dieses Forschungsauftrags ist die Erstellung eines Lastmodells für « den Schweizer Strassenverkehr » mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 Tonnen. Das Modell dient zur Überprüfung von bestehenden, zweispurigen Strassenbrücken (mit Gegenverkehr) und von zweispurigen Autobahnbrücken (ohne Gegenverkehr) mit Spannweiten bis zu 80 m. Die Überprüfung von Brücken mit mehr als zwei Fahrstreifen ist nicht Bestandteil dieser Untersuchung. Für deren Nachrechnung wird empfohlen, die Norm SIA 261 anzuwenden. In diesem Bericht wird hingegen auch die Situation "Autobahn mit Baustelle" (Verkehrsführung 4-0) untersucht.

Gemäss dem Unterhaltskonzept der Nationalstrassen UplaNS führt die Forderung nach einer behinderungsfreien Dauer von mehr als 10 Jahren zwischen zwei Instandsetzungen zu einer Periodizität der Instandsetzungsprogramme von ca. 15 Jahren. Deshalb wurde beschlossen, sowohl für Strassen mit Gegenverkehr als auch für Autobahnen, eine minimale Nutzungsdauer von 15 Jahren vorzusehen.

Aufgrund dieser Überlegung beschränkt sich die in dieser Studie berücksichtigte Verkehrsentwicklung auf einen Zeithorizont von 15 bis 20 Jahren. Eine regelmässige Überprüfung des Verkehrs ist erforderlich, um zu überprüfen, dass die angenommene Verkehrsentwicklung der Wirklichkeit entspricht. Ist dies nicht der Fall, müssen die Resultate dieser Studie überarbeitet werden.

1.4 VORGEHENSWEISE

Die generelle Vorgehensweise bei dieser Studie sieht folgendermassen aus : für eine bestimmte Anzahl von Brückentypen werden Schnittkräfte verglichen, welche zum Einen mit den Strassenlasten der aktuellen Normen und zum Anderen mit dem simulierten Verkehr ermittelt wurden. Aufgrund dieses Vergleichs wird ein aktualisiertes Lastmodell erstellt, welches sich auf das Lastmodell der aktuellen Norm stützt. Die aktuellen Normen, der berücksichtigte Verkehr sowie das Vorgehen bei der Definition des vorgeschlagenen, aktualisierten Lastmodells werden nachfolgend beschrieben.

Im Rahmen dieser Studie wurde das Verkehrssimulationsprogramm von [Bailey, 1996] weiterentwickelt. Zur Definition des simulierten Verkehrs, wurden am ICOM eine Methode und Computerprogramme für die Analyse der Daten aus den Wägestationen erstellt.

1.4.1 Aktuelle Normen

Die aktuellen schweizer Tragwerksnormen sind die Normen SIA 260 bis 269. Diese Studie basiert auf diesen Normen, insbesondere auf der Norm SIA 261, welche die Strassenlasten definiert. Der grösste Teil dieser Studie befasst sich mit dem Lastmodell 1, in welchem der Personen- und Lastwagenverkehr modelliert ist.

Gemäss Artikel 10.3.1 der Norm SIA 261 sind « die Einwirkungen auf Tragwerke für Strassen von der Verkehrszusammensetzung, von der Verkehrsdichte und von der Staufrequenz abhängig ». Um diese Einflüsse zu berücksichtigen verlangt die Norm, dass die charakteristischen Werte der Lasten des Lastmodells 1 mit den Beiwerten α_{Qi} , α_{qi} und α_{qr} multipliziert werden. Normalerweise sind diese Beiwerte mit 0.9 in Rechnung zu stellen, doch sie dürfen in Absprache mit der Bauherrschaft bzw. der Aufsichtsbehörde auf ein Minimum von 0.65 reduziert werden.

1.4.2 Vorgehen bei den Simulationen

Die Simulationen sind von Typ Monte Carlo und bestehen darin, virtuelle Fahrzeuge und Fahrzeugkolonnen über Brücken fahren zu lassen und die dabei erzeugten Schnittkräfte zu ermitteln. Die Brücken werden durch Einflusslinien der betrachteten Schnittgrösse modelliert. Die Fahrzeuge werden durch eine Folge von Achsen dargestellt, wobei das Gewicht und die Achsabstände nach statistischen Regeln definiert werden. Auch die Distanz zwischen den Fahrzeugen wird statistisch festgelegt, wobei diese noch von den Verkehrszuständen abhängt (z.B. gesättigter oder flüssiger Verkehr). Nachdem eine gewisse Anzahl Fahrzeuge die Brücke passiert hat, wird die maximale Schnittkraft ermittelt. Die Anzahl der auf der untersuchten Brücke anzusetzenden Fahrzeuge muss dem in einer gewissen Zeitspanne auftretenden, wirklichen Verkehr sowie den möglichen Verkehrszuständen entsprechen. Diese Simulation wird mehrmals durchgeführt bis die maximalen Schnittkräften festgelegt werden können. Ein in diesem Bericht festgelegtes Fraktile der Schnittkraftverteilung wird als Bemessungswert für die Schnittkräfte angesetzt.

1.4.3 Berücksichtigter Verkehr

Seit dem 1. Januar 2005 dürfen die 40-Tonnen Fahrzeuge frei in der Schweiz zirkulieren. Das Modell muss infolge dessen aufgrund des 40-Tonnen Verkehrs erstellt werden. Die zu Beginn dieser Studie (2003) aktuellsten Daten der Wägestationen (WIM) beinhalten einen Anteil an 40-Tonnen Fahrzeugen, da schon seit einigen Jahren eine steigende Anzahl dieser Fahrzeuge auf den schweizer Strassen erlaubt sind.

Ausserdem müssen Annahmen bezüglich der Verkehrsentwicklung getroffen werden. Da es schwierig ist, längerfristige Prognosen über diese Entwicklung zu machen, beschränken sich die Vorhersagen auf einen Zeithorizont von ungefähr 15 bis 20 Jahren.

Neben der zeitlichen Entwicklung des Verkehrs, ist er auch örtlich unterschiedlich. Jede betrachtete Strasse hat eine andere Zusammensetzung des Verkehrs und seine Dichte sowie die Häufigkeit der Staubildung sind unterschiedlich. Das Ziel ist es, trotz diesen schwierigen Vorgaben, ein allgemeines, aktualisiertes Modell zu erstellen, welches für alle schweizer Strassen anwendbar ist.

Aufgrund dieser Überlegungen werden zuerst Simulationen mit Verkehrsdaten aus den verschiedenen schweizer Wägestationen vom Jahre 2003 durchgeführt. Durch den Vergleich der Resultate mit den verschiedenen Verkehrsdaten können die Unterschiede der räumlichen Gegebenheiten ermittelt und in die Auswertung miteinbezogen werden. Anschliessend werden Simulationen durchgeführt, bei denen verschiedene Parameter variiert und deren Einfluss auf die Resultate untersucht wird. Dank dieses Parameterstudiums können Reserven für den betrachteten Zeithorizont vorgesehen werden.

1.4.4 Vorgehen beim aktualisierten Modell

Der Tragsicherheitsnachweis einer Brücke sieht gemäss der Norm SIA 260 folgendermassen aus :

$$E_d < R_d \quad \text{wobei } E_d : \text{ Bemessungswert einer Auswirkung} \\ E \{ \gamma_G G_k, \gamma_Q (\sum \alpha_{Qi} Q_i + \sum \alpha_{qi} q_i + \alpha_{qr} q_r) \} \\ R_d : \text{ Bemessungswert des Tragwiderstands}$$

Falls ein bestehendes Bauwerk die aktuellen Normen nicht erfüllt, können die Beiwerte α_{Qi} , α_{qi} und α_{qr} der Norm durch die aktualisierten Werte aus diesem Bericht ersetzt werden. Diese sind in Abhängigkeit des Verkehrs (Strassenbrücken mit Gegenverkehr, zweispurige Autobahnbrücken), der Tragstruktur (statisches System, Spannweite,...) und der berücksichtigten Schnittgrössen (M+, M-, V) definiert. Die Beiwerte können in gewissen Fällen sogar kleiner sein als der in der Norm SIA 261 vorgeschlagene, minimale Bemessungswert von 0.65.

2 GRUNDLAGEN UND ANNAHMEN

Dieses Kapitel definiert die Grundlagen und Annahmen aller Verkehrssimulationen, welche im Rahmen dieser Studie durchgeführt wurden. Sie sind in vier Gruppen aufgeteilt :

- 2.1 Fahrbahn und Tragstruktur : Definition der Anzahl Fahrstreifen und deren Position auf dem jeweiligen Brückentyp und die Definition des Verhaltens und des statischen Systems der einzelnen Brückentypen.
- 2.2 Modellierung des Verkehrs : Definition des simulierten Verkehrs, insbesondere des Verkehrsvolumens, der Fahrzeugtypen und deren Abstände.
- 2.3 Modellierung der Fahrzeuge : Definition der Geometrie und des Gewichts der simulierten Fahrzeuge.
- 2.4 Modellierung des zirkulierenden Verkehrs : Definition der Verkehrszuständen, insbesondere der Distanzen zwischen den Fahrzeugen und der Aufteilung der Fahrzeugtypen auf die Fahrstreifen.

2.1 FAHRBAHN UND TRAGSTRUKTUR

Da der Verkehr durch eine Reihe wandernder Lasten dargestellt wird, hängen die erhaltenen Schnittkräfte direkt von der Position der Fahrzeuge ab. Die Auswirkung jedes einzelnen Fahrzeugs wird mit Hilfe von transversalen und longitudinalen Einflusslinien berechnet. Nach der Definition des Querschnitts und des statischen Systems erhält man die Einflusslinie in Längsrichtung. Durch die Eingabe der Einflusslinien ins Verkehrssimulationsprogramm kann die Tragstruktur berechnet werden.

Ausserdem muss die Anordnung der Fahrbahn auf der Fahrbahnplatte definiert werden, da die Position der Fahrstreifen in Querrichtung davon abhängt.

2.1.1 Anordnung der Fahrbahn

Es gibt verschiedene Anordnungen der Fahrbahn auf einer Fahrbahnplatte. Bei den betrachteten Strassen variieren die Anzahl, die Breite und die Position der Fahrstreifen in Querrichtung, teilweise ist auch die Fahrtrichtung des Verkehrs verschieden. Auf jeder dieser Strassen kann sich die Anordnung der Fahrbahn im Laufe der Zeit oder während einer bestimmten Zeitspanne, zum Beispiel anlässlich einer Baustelle, verändern. Ausserdem kam es in letzter Zeit häufig vor, dass der Pannestreifen gewisser Hauptachsen dem Schwerverkehr als vorübergehender Parkstreifen diene.

Prinzipiell kann zwischen Strassen mit Gegenverkehr (Kantons- und Gemeindestrassen) und den Autobahnen unterschieden werden. Um die verschiedenen Fälle systematisch zu erfassen, wurde beschlossen, entsprechend den fiktiven Fahrstreifen der Norm, eine Fahrstreifenbreite von 3 m anzunehmen. Als Standardsituation wird der in Bild 2.1 dargestellte Fall untersucht. Als eine Ausnahmesituation wird in dieser Studie die Situation Autobahn mit Baustelle und einer Verkehrsführung von 4-0, wie sie in Bild 2.2 dargestellt ist, betrachtet. Alle anderen Fälle, welche nicht in eine der aufgeführten Anordnungen der Fahrbahn eingegliedert werden können, müssen in einer eigenen Studie untersucht werden.

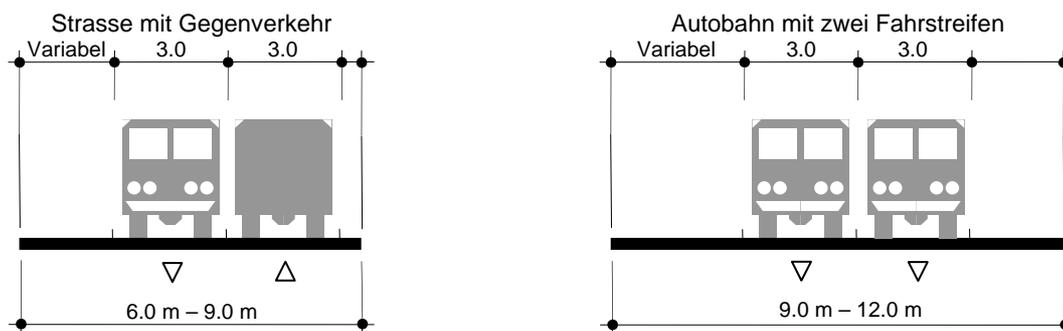
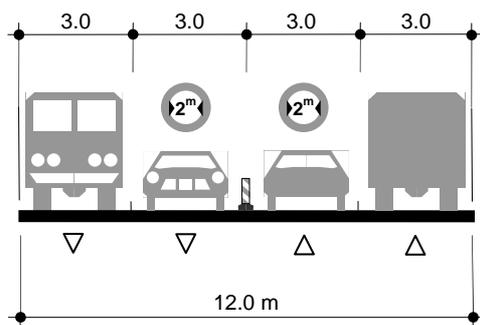


Bild 2.1 – Untersuchte Standardanordnung der Fahrbahn



Gemäss [ASTRA – VSS, 1999], beträgt die minimale Breite der Fahrstreifen auf der Autobahn 2.5 respektive 3.0 m für Fahrstreifen mit respektive ohne Einschränkung der Breite. Dazu kommen 0.5 m in der Mitte der Fahrbahn und eine Marge für die Leitplanken von 0.3 m auf beiden Seiten. Somit beträgt die minimale Breite 12.1 m. Im Rahmen dieser Studie wird dieser Wert auf 12 m abgerundet.

Bild 2.2 – Verkehrsführung 4-0 auf einer Autobahn mit Baustelle

Für die Verkehrssimulationen wird angenommen, dass die Fahrzeuge in der Mitte des jeweiligen Fahrstreifens zirkulieren.

2.1.2 Brückenquerschnitt

Der Einfluss des Verkehrs auf ein bestimmtes Element der Tragstruktur ist, je nach Querschnittstyp und je nach dem auf welchem Fahrstreifen die Belastung aufgebracht ist verschieden. Als erstes muss der Querschnitt definiert werden, um die Aufteilung der Schnittkräfte in Querrichtung zu bestimmen.

Es werden vier Querschnittstypen untersucht : die Kastenbrücken, die zwei- und mehrstegigen Brücken sowie die Plattenbrücken.

Kastenbrücken

Für die Kastenbrücken (Bild 2.3) aus Beton oder aus Stahl-Beton Verbund wird angenommen, dass jeder Fahrstreifen, unabhängig von der Position auf der Fahrbahn, die gleiche Auswirkung auf das Biegemoment und die Schubbeanspruchung des Querschnitts hat.

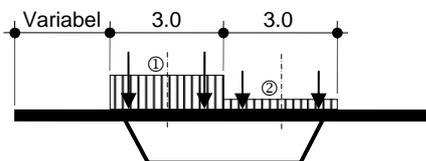


Bild 2.3 – Kastenbrücke

Zweistegige Brücken

Für eine zweistegige Verbundbrücke wird die in Bild 2.4 dargestellte, vereinfachte Aufteilung der Schnittkräfte als Standardfall betrachtet.

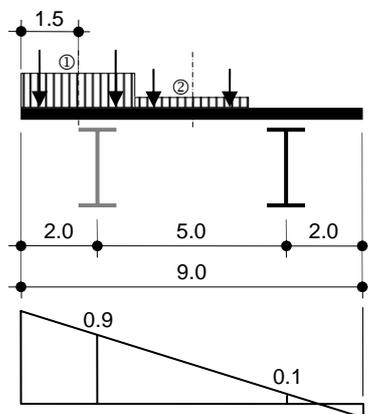


Bild 2.4 – Standardfall einer zweistegigen Brücke

Um die Wichtigkeit der Annahmen bezüglich der Aufteilung der Fahrbahn, der Geometrie, der Distanz zwischen den Längsträgern oder der Breite der Fahrbahnplatte zu sehen, werden noch drei weitere Fälle von zweistegigen Brücken untersucht. Diese drei Fälle sind in Bild 2.5 dargestellt.

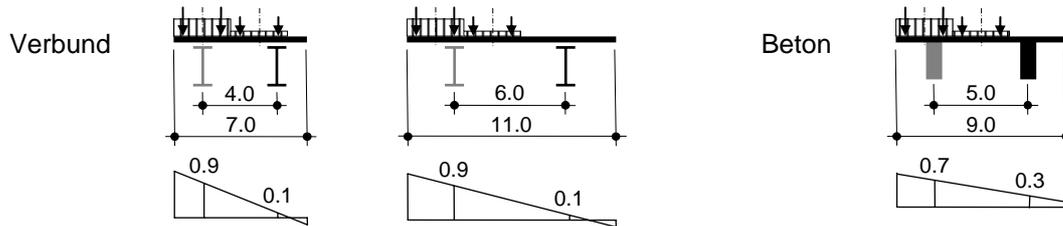


Bild 2.5 – Weitere untersuchte zweistegige Brücken

Mehrstegige Brücken

Das Verhalten von mehrstegigen Brücken in Querrichtung kann von einer Brücke zur anderen variieren. Es hängt unter anderem vom Abstand und der Höhe der Längsträger, von der Steifigkeit der Platte, von eventuellen Querträgern und von der Spannweite ab. Nach einer gewissen Anzahl untersuchter, mehrstegiger Brücken in der Schweiz, wurde beschlossen drei Längsträger an zwei verschiedenen, mehrstegigen Brücken zu berücksichtigen (Bild 2.6). Das Trägheitsmoment der Längsträger ist konstant und deren Höhe, inklusive der Platte, beträgt $L/20$, wobei L die grösste freie Spannweite der Brücke ist. Sowohl die Dicke der Platte als auch die Breite der Längsträger hängen vom Trägerabstand ab und werden zu $e/10$ respektive $e/6$ angenommen. Die Bemessung der Brücken erfolgt anhand eines Stab- und Trägermodells.

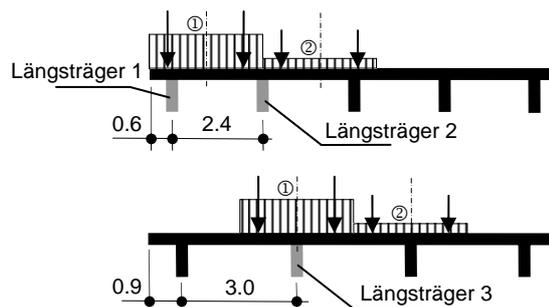


Bild 2.6 – Mehrstegige Brücken

Plattenbrücken

Die Plattendicke wird aufgrund des Schlankheitskriteriums $h = L/33$ festgelegt, wobei L die grösste, freie Spannweite der Brücke ist. Eine Berechnung der Einflussfelder jeder untersuchten Platte anhand eines finite Elemente Programms, ermöglicht die Betrachtung des zweidimensionalen Verhaltens der Brücke. Die Platte ist 9 m breit und wird an drei Schnitten p_1 , p_2 und p_3 , welche in Bild 2.7 dargestellt sind, analysiert.

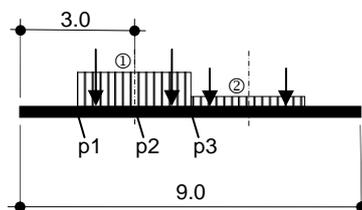


Bild 2.7 – Plattenbrücke

2.1.3 Statisches System in Längsrichtung

Es ist nicht möglich ein einheitliches Modell, welches auf alle statischen Systeme anwendbar ist, zu definieren. Die Wahl muss sich also auf die häufigsten Balkenbrücken beschränken. Eventuell können die Resultate anschliessend noch auf beispielsweise Rahmen- oder Hängebrücken ausgeweitet werden.

Entspricht ein Fall keinem der vorgeschlagenen, statischen Systeme, muss er in einer eigenen Studie untersucht werden.

Balkenbrücken

Zur Untersuchung der Balkenbrücken werden zwei statische Systeme untersucht, welche in Bild 2.8 dargestellt sind: der einfache Balken und der Durchlaufträger.

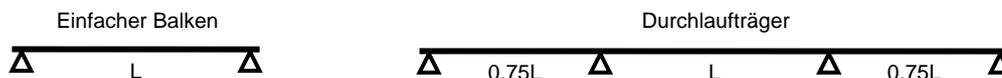


Bild 2.8 – Statisches System für Balkenbrücken

Plattenbrücken

Für die Plattenbrücken fällt die Wahl des statischen Systems auf einen Rahmen mit verschiedenen Auflagerbedingungen, von gelenkig gelagert bis voll eingespannt (Bild 2.9).

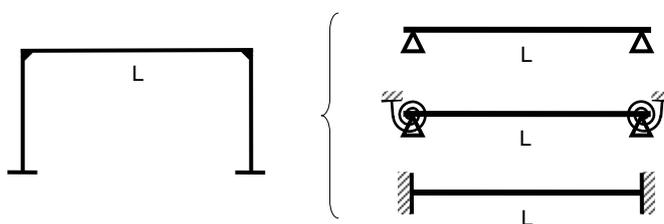


Bild 2.9 – Statisches System für Plattenbrücken

Spannweiten

Die in dieser Studie untersuchten Spannweiten sind in Tabelle 2.1 für jeden Brückentyp aufgelistet.

Tabelle 2.1 – Untersuchte Spannweiten L

Brücke	Kasten	Zweistegig	Mehrstegig	Platte
Spannweite	20 – 80 m	20 – 80 m	15 – 35 m	10 – 30 m

2.1.4 Schnittkräfte

Aufgrund des Querschnitts und des statischen Systems ist es möglich, für jedes Tragelement die Einflusslinien der infolge der Verkehrseinwirkung erzeugten Schnittkräfte zu ermitteln.

Die folgenden Schnittkräfte werden untersucht :

- Biegemoment M^- über den Auflagern (Durchlaufträger und Platten),
- Biegemoment M^+ in Feldmitte (einfacher Balken, Durchlaufträger und Platten),
- Schubbeanspruchung V am Ende des Mittelfeldes (einfacher Balken und Durchlaufträger)

Bei Plattenbrücken erfolgen die Berechnungen der Biegemomente an den in Bild 2.7 aufgezeigten Schnitten.

2.2 MODELLIERUNG DES VERKEHRS

Die Simulationen dieser Studie werden mit einem virtuellen Verkehr durchgeführt, welcher aus Messungen der effektiven Verkehrsströme in der Schweiz hergeleitet werden kann. Dieser Abschnitt des Berichts zeigt sowohl die zur Verfügung stehenden Messdaten als auch deren Anwendung bei der Definition des Verkehrsmodells auf. Insbesondere die Verkehrszusammensetzung und das Verkehrsvolumen können bestimmt werden. Um die zukünftigen Verkehrsentwicklungen zu berücksichtigen werden Analysen durchgeführt mit deren Resultaten wiederum neue Simulationen durchgeführt werden können.

2.2.1 Verkehrsmessungen

Unter der Leitung des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) wird an Wägestationen in der ganzen Schweiz (WIM) der Strassenverkehr automatisch gewogen und gezählt.

An den schweizer Autobahnen befinden sich heutzutage sieben solcher Wägestationen. Die Standorte der Stationen werden in Bild 2.10 aufgezeigt.

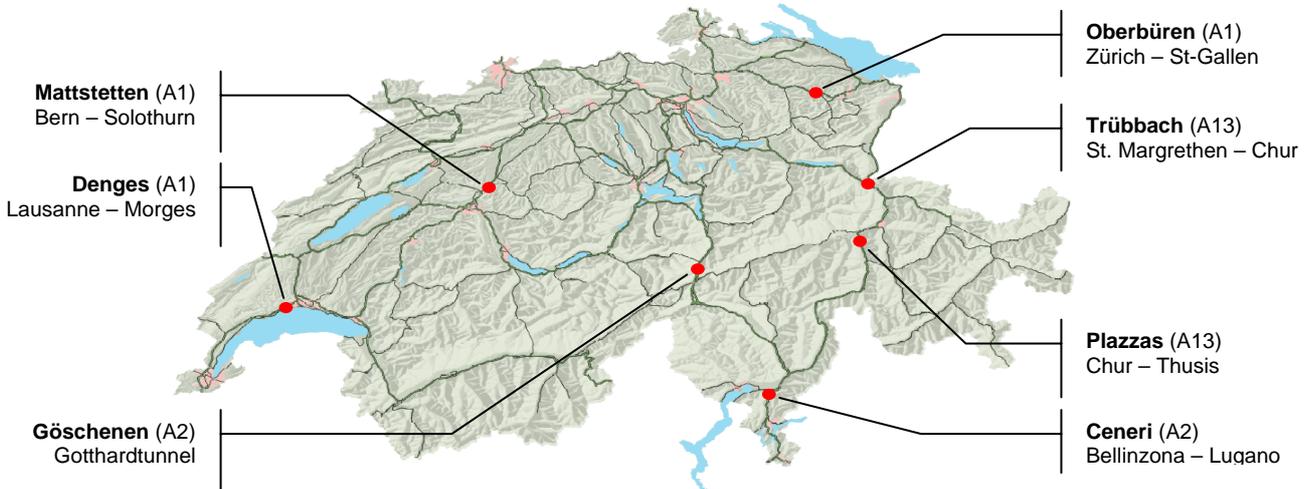


Bild 2.10 – Wägestationen in der Schweiz [ASTRA, 2005]

Die Analyse der Messdaten aus den Wägestationen (WIM) ermöglicht die Charakterisierung des zu simulierenden Verkehrs. Sowohl die Verkehrszusammensetzung (Ziffer 2.2.3) als auch die Modellierung der Fahrzeuge (Abschnitt 2.3) können aus den Messungen hergeleitet werden.

Für diese Studie wurden die aktuellsten zur Verfügung stehenden Messdaten, also dies aus dem Jahre 2003, verwendet. Die Auswertung der Daten dieser sieben Wägestationen hat gewisse Unterschiede zwischen den Standorten aufgezeigt. Zwischen dem « Nord-Süd » Verkehr, der hauptsächlich aus internationalem und Transit Verkehr besteht (z.B. an der Station Göschenen), und dem restlichen Verkehr, welcher vor allem « lokal und national » ist, konnten signifikante Abweichungen festgestellt werden. Der grösste Unterschied betrifft die Überschreitungsrate der zulässigen Gewichtslimite von 40 Tonnen, welche im « Nord-Süd » Verkehr etwas besser eingehalten wird als in den restlichen Verkehrsströmen. Dafür ist das mittlere Gewicht der LKWs auf der Nord-Süd Achse viel massgebender als auf den anderen Hauptachsen. Das Bild 2.11 illustriert diese Beobachtungen.

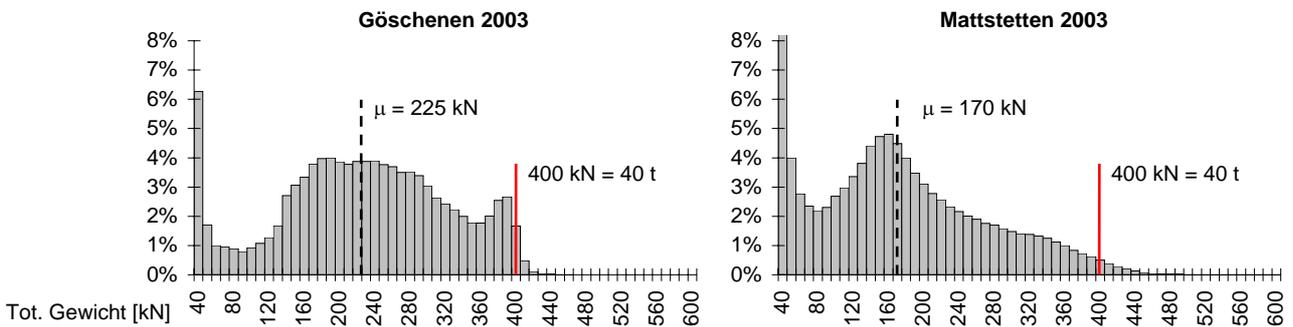


Bild 2.11 – Totales Gewicht aller LKWs von den Wägestationen Göschenen und Mattstetten im Jahre 2003

Nach unserer Kenntnis existieren auf den Kantonsstrassen keine solchen fix installierten Stationen. Die einzigen zur Verfügung stehenden Messdaten aus Wägungen stammen von Aarwangen. Diese wurden während einer Zeitspanne von mehreren Wochen erhoben [ICOM, 1999]. Deshalb wurde beschlossen, sowohl für Autobahnen als auch für Kantonsstrassen die gleichen Verkehrsströme anzunehmen.

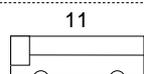
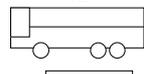
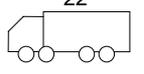
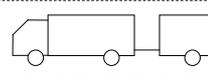
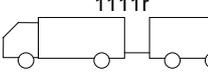
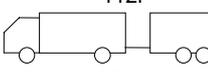
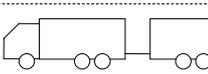
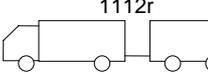
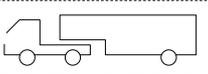
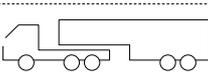
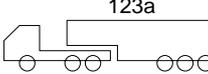
Betreffend die automatischen Zählungen weist die Schweiz hingegen ein Netz mit mehr als 250 Stationen, verteilt über das ganze Land, auf. Diese Daten wurden in der Studie zur Definition des zu berücksichtigenden Verkehrsvolumens benutzt (Ziffer 2.2.4).

2.2.2 Fahrzeugtypen

Es verkehren verschiedene Fahrzeugtypen auf den Strassen. Für die Verkehrssimulationen können die Fahrzeuge entsprechend ihrer Anzahl Achsen und ihre Achsanordnung in Klassen aufgeteilt werden.

Nach einer Vorstudie über die Verkehrszusammensetzung wurde beschlossen, die Fahrzeuge in 4 Kategorien und 13 Klassen aufzuteilen (Tabelle 2.2). Der ersten Klasse werden Fahrzeuge mit einem Gewicht kleiner als 3.5 t zugeordnet. Fahrzeugtypen, welche sich nicht exakt einteilen lassen, werden zwar einer Gruppe zugeordnet, zusätzlich aber noch mit einer gestrichelten Linie gekennzeichnet. Eine ausführliche Erklärung zur Aufteilung der Fahrzeuge in Klassen wird im Anhang A.1 gegeben.

Tabelle 2.2 – Definierte Verkehrsklassen

Kategorie	Leichte Fzg.	Einzelne Fahrzeuge	Fahrzeuge mit Anhänger	Gelenkfahrzeuge
Klassen	 < 3.5t	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  11 </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  12 </div>  22	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  1111r </div>  112r  1211r <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  1112r </div>  1112r	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  111 </div>  112a  113a <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  122 </div>  123a

Auch mit einer sehr guten Klassenaufteilung, bleibt eine gewisse Anzahl gewogener Fahrzeuge unklassiert. Wenn diese Fahrzeuge nur schwach vertreten und nicht signifikant sind (geringes Gewicht pro Laufmeter), können sie aus der Studie ausgeschlossen werden.

Ebenfalls können ganze Fahrzeugklassen ausgeschlossen werden, falls die Auftretenswahrscheinlichkeit gering und deren Fahrzeuge nur leicht signifikant sind. Die Entscheidung, ob eine Fahrzeugklasse in die Simulationen miteinbezogen wird oder nicht, wird also aufgrund der folgenden zwei Aspekte getroffen : Die Menge und die Signifikanz.

Der exakte Einfluss der bei den Simulationen beteiligter Anzahl Klassen auf das Resultat wurde nicht genau untersucht, aber die vorgeschlagene Aufteilung enthält eine vernünftige Anzahl Klassen und erscheint realistisch.

2.2.3 Verkehrszusammensetzung

Sind die Fahrzeugklassen definiert, muss der prozentuale Anteil jeder Klasse im Strassenverkehr bestimmt werden. Diese Werte sind je nach Verkehrsachse unterschiedlich und können sich auch im Laufe der Jahre verändern.

Die Fahrzeuge, welche leichter als 3.5 Tonnen sind, werden von den Wägestationen nicht erfasst. Für die Studie ist es aber erforderlich zu wissen, wie viele leichte Fahrzeuge im schweizer Strassennetz verkehren. Diese Anzahl kann den automatischen Zählstationen entnommen werden.

Da der schweizer Schwerverkehr in der Nacht und an Feiertagen beinahe gleich Null ist, ist der Mittelwert des prozentualen Anteils an LKWs in einem Jahr nicht sehr repräsentativ für diese Studie. Um diesen Parameter nicht zu unterschätzen, soll er erhöht werden. Vereinfacht wird angenommen, dass ein Drittel des

gesamten Verkehrs nur aus leichten Fahrzeugen besteht. Aufgrund dieser Annahme wird ein Faktor für den Schwerverkehr, genannt p_{sv} , von $2/3$ eingeführt.

Es ist nicht einfach, die Entwicklung jeder einzelner Fahrzeugklasse zu bestimmen. Die Verkehrsentwicklung der verschiedenen Schwerverkehrskategorien (einzeln, mit Anhänger oder gelenkig) könnte bis zu einem gewissen Grad aus Untersuchungen der Verkehrszählungen an den Stationen Mattstetten und Göschenen [ICOM, 2004] hergeleitet werden. Doch man muss dabei in Betracht ziehen, dass die Entwicklung in der Vergangenheit nicht zwingend ein Indikator für die zukünftige Entwicklung darstellt, insbesondere da dieser Parameter ausserdem noch von der Politik über das Transportwesen und von wirtschaftlichen Aspekten abhängt.

Der Bericht Ecoplan [Sommer, 1997] sieht fürs Jahr 2015 im Vergleich zum Jahre 1999 eine Zunahme des Schwerverkehrs um 35% vor. Da die Unsicherheit dieser Prognose relativ gross ist, schlagen wir vor, dass zuerst Simulationen ohne Berücksichtigung der Verkehrszunahme durchgeführt werden sollen. Erst anschliessend soll mittels einer Parameterstudie der Einfluss eines gegebenen Entwicklungsszenarios auf die Resultate untersucht werden. Damit sollen Hinweise über die auf das aktualisierte Modell anzusetzenden Reserven erhalten werden.

Diese soeben vorgeschlagene Methode zur Ermittlung der Verkehrszusammensetzung, wird im Anhang A.2 genauer beschrieben. In Bild 2.12 ist die Verkehrszusammensetzung des Jahres 2003 in Göschenen dargestellt. Dabei ist der Faktor $p_{sv} = 2/3$ zur Berücksichtigung des Schwerverkehrs bereits inbegriffen.

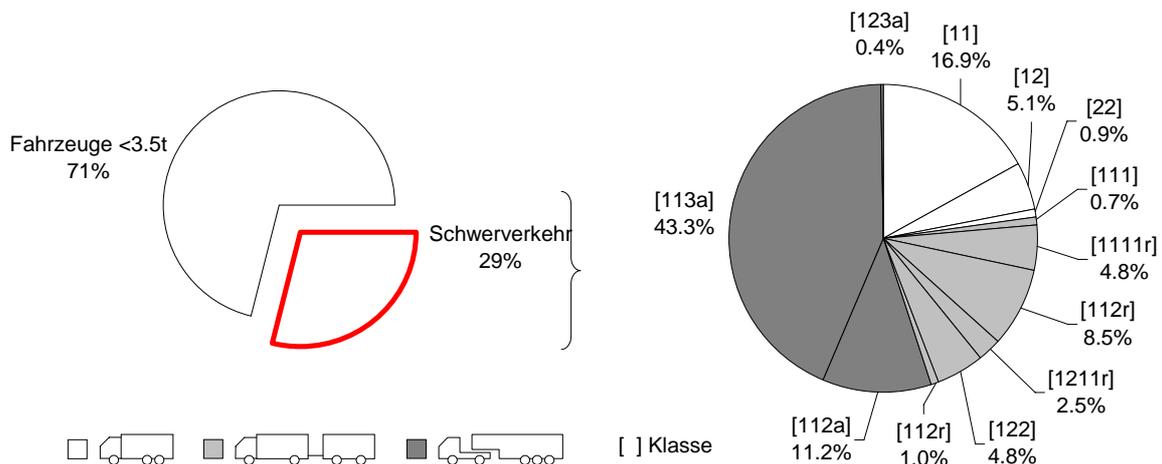


Bild 2.12 – Verkehrszusammensetzung in Göschenen im Jahre 2003

Göschenen ist die Station, welche im Bezug auf den totalen Verkehr den grössten Prozentsatz an Schwerverkehr (29%) aufweist. Unter den Stationen die den « lokalen und nationalen » Verkehr registrieren, hat Mattstetten mit 14% den grössten Anteil an Schwerverkehr, was ungefähr der Hälfte des Schwerverkehrs der Gotthardachse entspricht. Die Zusammensetzung aller untersuchten Verkehrsströme befindet sich im Anhang A.3.

2.2.4 Verkehrsvolumen

Das Volumen des durchschnittlichen, täglichen Verkehrs (DTV) variiert entlang der betrachteten Hauptachsen. Da ausserdem die Anzahl der Fahrzeuge von Jahr zu Jahr zunimmt, müssen bestimmte fixe Angaben bezüglich des Verkehrsvolumens gemacht werden.

Wie vorher schon angedeutet, ist das schweizer Strassennetz mit einer grossen Anzahl von automatischen Zählstationen ausgerüstet, welche eine gute Abschätzung des Verkehrsvolumens erlauben.

Für diese Studie werden Werte festgelegt, welche für die Mehrheit der schweizer Strassenbrücken anwendbar sind. Da das angenommene Verkehrsvolumen und somit auch die Anzahl simulierter Fahrzeuge hoch ist steigt auch die Wahrscheinlichkeit, maximale Schnittkräfte zu erhalten.

Für die Kantonsstrassen mit Gegenverkehr wird ein Verkehrsstrom von 12'500 Fahrzeugen pro Tag in beide Richtungen vorgeschlagen (DTV). Ausserdem wird gemäss einem Bericht der [Rapp Trans AG, 2003] eine Zunahme von 2% pro Jahr bis ins Jahre 2015 prognostiziert was einem Total von ungefähr 15'000 Fahrzeugen pro Tag oder 5 Mio. Fahrzeugen pro Jahr entspricht.

Gemäss der visuellen Karte mit den automatischen Zählungen von 2003 [ASTRA, 2004.2], erscheinen 50'000 Fahrzeuge pro Tag auf Autobahnen für beide Richtungen vernünftig (DTV). Mit einer möglichen Zunahme bis ins Jahr 2015 um 2% pro Jahr, erhält man ein Total von ca. 60'000 Fahrzeugen pro Tag. Dies entspricht ungefähr 10 Mio. Fahrzeuge pro Jahr pro Richtung.

Tabelle 2.3 – Angenommenes, jährliches Verkehrsvolumen

Strasse mit Gegenverkehr	Autobahn mit zwei Fahrstreifen
5'000'000 Fzg. / Jahr	10'000'000 Fzg. / Jahr / Richtung

2.3 MODELLIERUNG DER FAHRZEUGE

Für jede in der Simulation berücksichtigte Fahrzeugklasse (Definition in Ziffer 2.2.2), kann das Gewicht und die Geometrie der Fahrzeuge in probabilistischen Verteilungen modelliert werden. Die Modellierung basiert auf statistischen Werten welche aus den Verkehrsmessungen stammen. Dieser Abschnitt beinhaltet die vorgeschlagenen Modelle und die Art und Weise wie die verschiedenen Parameter ermittelt werden. Ebenfalls wird die Frage nach den dynamischen Auswirkungen diskutiert. Ausserdem werden Modelle für LKW Typen definiert um eine deterministische Berechnung der Schnittkräfte aufzustellen.

2.3.1 Totales Gewicht

Anhand der Daten aus den Wägestationen ist es möglich, für jeden Fahrzeugtyp ein Histogramm mit dem totalen Gewicht zu erstellen. Diese Histogramme werden durch eine Beta- oder eine bimodale Beta-Verteilung modelliert. Mit der bimodalen Beta-Verteilung ist es möglich, beide beobachteten Spitzen darzustellen, welche sich aufgrund der beladenen und der unbeladenen Fahrzeuge ergeben.

Es wurde ein System zur Optimierung der bimodalen Kurvenparameter entwickelt, um das Modell so gut wie möglich den Histogrammen aus den Messungen anzupassen. Der Optimierung der Modellierung der schwersten Fahrzeuge wird ein hoher Stellenwert zugeordnet, insbesondere der Ermittlung des 95% Fraktils. Ausserdem muss für die Fraktile zwischen 90 und 100% eine möglichst gute Annäherung zwischen dem Modell und den Messungen gefunden werden.

In Bild 2.13 wird ein Beispiel der Modellierung der Klasse Fahrzeuge mit Anhänger vom Typ 1111r in Göschenen im Jahre 2003 gezeigt. Das Histogramm resultiert aus Wägungen von ungefähr 50'000 Fahrzeugen mit Anhängern. Die Histogramme des totalen Gewichts aller Fahrzeugklassen sowie für die Mehrheit des untersuchten Verkehrs befinden sich im Anhang A.4.

Um die zukünftige Gewichtsentwicklung der Fahrzeuge zu berücksichtigen, müssen die Kurven jeder Fahrzeugklasse erhöht werden. Anhand der Daten aus den Wägestationen Mattstetten und Göschenen von 1995 bis 2002, ausgewertet durch das ICOM [ICOM, 2004], können Hinweise über die bisherige Gewichtsentwicklung erhalten werden. Die Resultate zeigen auf, dass die mittlere Achslast um etwa 0.5 bis 1% pro Jahr zugenommen hat. Basierend auf diesen Daten, kann die Zunahme des totalen Gewichts auf 1 bis 2% pro Jahr geschätzt werden. Diese Entwicklung ist auf zwei Hauptfaktoren zurückzuführen :

- die Entwicklung der Verkehrszusammensetzung und natürlich die Zulassung des 40-Tonnen Schwerverkehrs,
- die Optimierung des Transportwesens durch die Einschränkung leerer Fahrten.

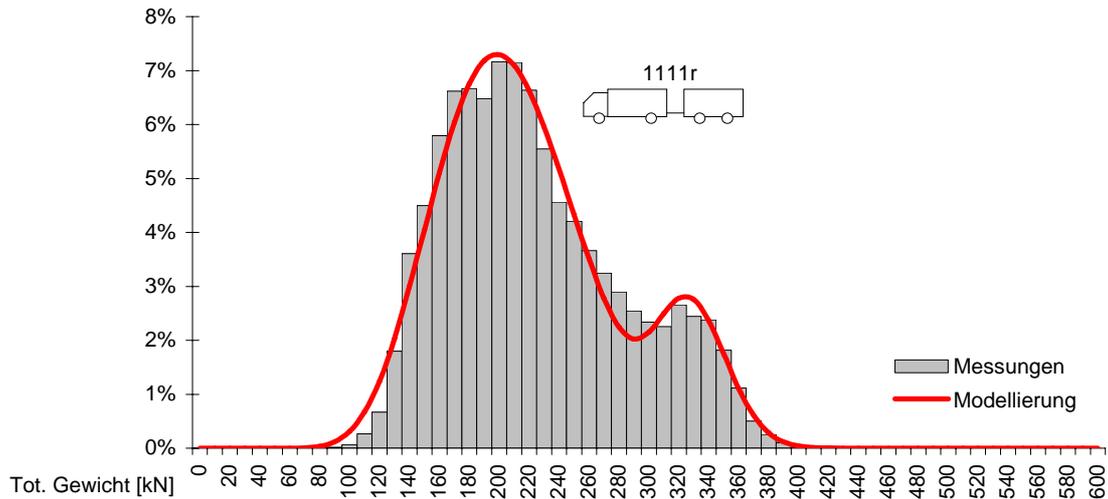


Bild 2.13 – Beispiel der Modellierung des totalen Gewichts (Göschenen 2003)

Die Modellierung einer Verkehrsentwicklung ist nicht einfach, da einerseits die Verkehrszusammensetzung (Ziffer 2.2.3) angepasst und andererseits die Kurven des totalen Gewichts einiger Fahrzeugtypen modifiziert werden müssen. Solche Szenarien sind zwar vorstellbar, doch es ist immer schwierig, die Entwicklung dieser Parameter mit Sicherheit vorauszusagen. Deshalb wurde beschlossen, für die Simulationen die Zunahme des totalen Gewichts nicht zu berücksichtigen. Anschliessend muss mit den Resultaten eine Parameterstudie durchgeführt werden, um die Signifikanz der einen oder anderen Entwicklung zu untersuchen und um Hinweise über die Reserven gegenüber dem aktualisierten Modell zu erhalten.

Um die Messtoleranzen zu berücksichtigen könnte eine zusätzliche Erhöhung des Gewichts miteinbezogen werden. Diese beträgt schätzungsweise zwischen 0 und 5%. Sie wurde jedoch für die Studie vernachlässigt.

Die leichten Fahrzeuge (<3.5 Tonnen) werden bei den Simulationen nicht berücksichtigt, da ihr Gewicht im Vergleich zum Gewicht des Schwerverkehrs vernachlässigbar ist.

2.3.2 Achslasten

Die Achslasten wurden aufgrund der Korrelation zwischen dem totalen Gewicht der Fahrzeuge und dem Gewicht einzelner Achsen oder Achsgruppen festgelegt. Die Graphik in Bild 2.14 zeigt eine solche Korrelation zwischen dem totalen Gewicht und dem Gewicht Q_3 der Gruppe der dreiachsigen Gelenkfahrzeuge des Typs 113a.

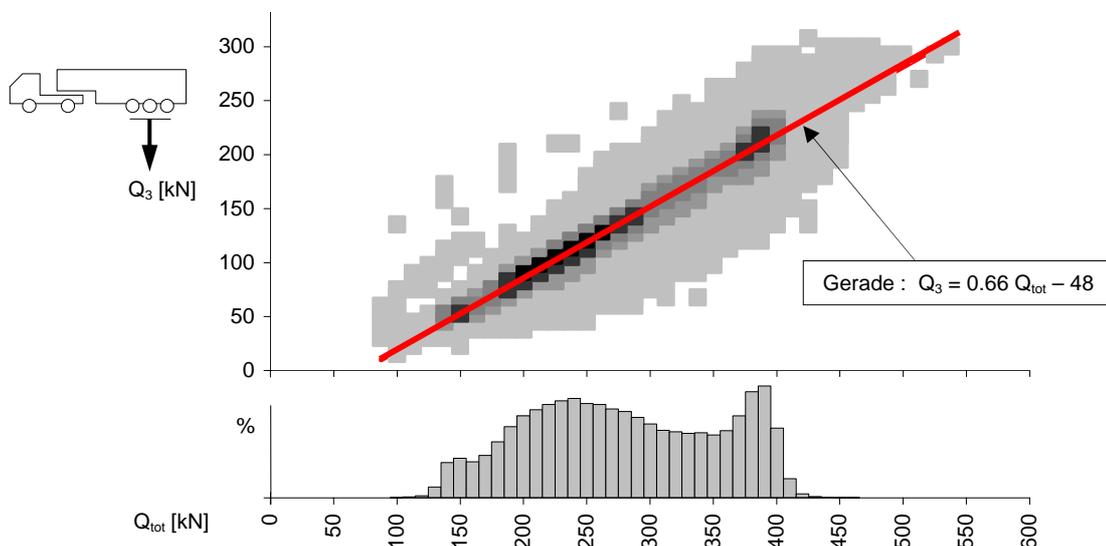


Bild 2.14 – Beispiel der Relation zwischen den Achslasten

Die Relationen zwischen den einzelnen Achsen können mit Hilfe von Regressionsgeraden ausgedrückt werden. Falls die Korrelation zwischen den Messungen und der Gerade nicht sehr gut ist, können die Parameter a_i und b_i der Gerade auf probabilistische Weise anhand einer Normalverteilung angepasst werden. So kann mit einer korrekt definierten Standardabweichung die Verteilung der verschiedenen Achslasten den Messungen sehr gut angenähert werden.

Die Achslasten der verschiedenen Gruppen können folgendermassen festgelegt werden : zum Beispiel beim oben erwähnten Gelenkfahrzeug berechnet man zuerst die meistbelastete Achse $Q_3 = a_3 Q_{\text{tot}} + b_3$. Anschliessend berechnet man $Q_2 = a_2 (Q_{\text{tot}} - Q_3) + b_2$ und zum Schluss noch $Q_1 = Q_{\text{tot}} - Q_3 - Q_2$.

Für die Gruppe der Doppel- und Dreifachachsen wird der Zusammenhang zwischen den zwei oder drei Achsen anhand des mittleren Verhältnisses der gemessenen Gewichte bestimmt.

Um die Simulationen sowohl zu vereinfachen als auch zeitlich zu beschränken, wurde beschlossen die Parameter a und b aller Regressionsgeraden mit einer Standardabweichung von Null zu definieren. Man weiss nicht genau, wie wichtig es ist, diese Parameter möglichst wirklichkeitsnahe darzustellen. Man nimmt hingegen an, dass die Wichtigkeit insbesondere bei Bauwerken mit mittleren bis grossen Spannweiten nicht sehr hoch ist.

2.3.3 Dynamische Auswirkung

Aus den Wägestationen werden Werte entnommen, welche in etwa den statischen Achslasten entsprechen. Die dynamischen Beiwerte, welche berücksichtigt werden müssen, hängen neben dem dynamischen Verhalten der Brücke, hauptsächlich vom Profil der Fahrbahn, der Steifigkeit und dem Gewicht des Fahrzeuges ab. Diese Faktoren beinhalten mehrere Parameter, weshalb beschlossen wurde, anstatt einen dynamischen Beiwert auf die einzelnen Achsen anzusetzen, einen globalen dynamischen Faktor entsprechend den Vorschlägen in [ASTRA, 2004.1] zu verwenden. Die Details zur Berücksichtigung der dynamischen Auswirkung in den Simulationen werden im Abschnitt 3.1 erläutert.

2.3.4 Geometrie

Die verschiedenen Achsabstände der Fahrzeuge können aus den Daten der Wägestationen entnommen werden. Eine statistische Analyse der Messungen ermöglicht eine probabilistische Modellierung der Fahrzeuggeometrie.

Da offensichtlich keine Relation zwischen den verschiedenen Achsabständen eines Fahrzeuges besteht, wird jeder einzelne durch ein unabhängiges, probabilistisches Gesetz mit einer Beta-Verteilung festgelegt. Die Parameter dieser Gesetze werden aufgrund der Daten von den Wägestationen für jede Fahrzeugklasse festgelegt. Das Bild 2.15 zeigt ein Beispiel der Modellierung der Distanzen zwischen den zwei ersten Achsen eines Fahrzeuges mit Anhänger.

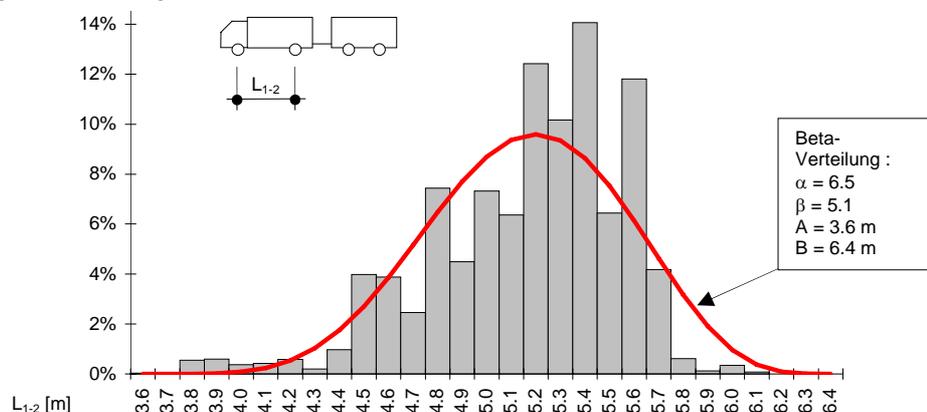


Bild 2.15 – Beispiel der Modellierung von Achsabständen

Um die Anzahl der probabilistischen Parameter und somit auch die Dauer der Simulationen zu reduzieren, werden die folgenden Elemente definiert :

- Die Distanzen zwischen den verschiedenen Achsen, welche eine Gruppe von Doppel- und Dreifachachsen bilden ; die Werte werden den Angaben aus den Wägestationen entnommen.
- Der auskragende Teil vor und hinter den Achsen der Fahrzeuge jeder Klasse ; die Werte werden den Beobachtungen und den Messungen der Fahrzeuge entnommen.
- Die Länge der leichten Fahrzeuge ; es wird ein fixer Wert von 4.5 m angenommen.

2.3.5 Deterministisches Modell

In gewissen Fällen, vor allem bei Bauwerken mit kleiner Spannweite, kann das Passieren eines einzelnen, sehr schweren Fahrzeuges grössere Schnittkräfte erzeugen als die Simulation. Jeder untersuchte Fall wird also mit verschiedenen deterministischen Fahrzeugen verifiziert.

1. Die Baustellenlastwagen mit 5 Achsen (Typ 23) und einem zulässigen Gewicht von 40 Tonnen sind sehr signifikante Fahrzeuge, da die 5 Achsen auf nur ca. 6.8 m verteilt sind :

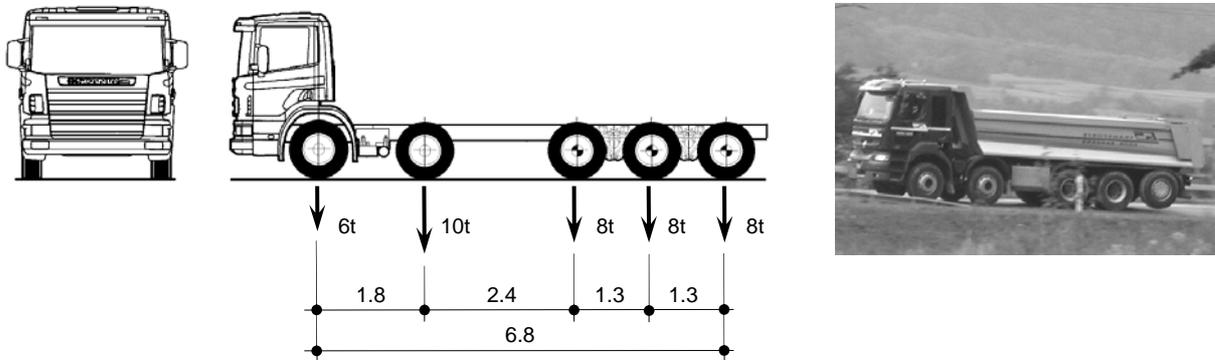


Bild 2.16 – 40 Tonnen Baustellenlastwagen vom Typ 23

Dieser Typ Fahrzeug kann leicht überladen werden, weshalb dafür ein Lastfaktor von $\gamma_Q = 1.5$ angesetzt wird. Der dynamische Beiwert wird bei einem Fahrzeug dieses Gewichts auf 1.3 angesetzt.

2. Die Pneuکرane mit einem Gewicht von 60 Tonnen dürfen nur mit einer Sonderbewilligung fahren. Ausserdem sind sie mit ihren 5 Achsen à je 12 Tonnen, welche nur auf 7.2 m verteilt sind, sehr signifikant :

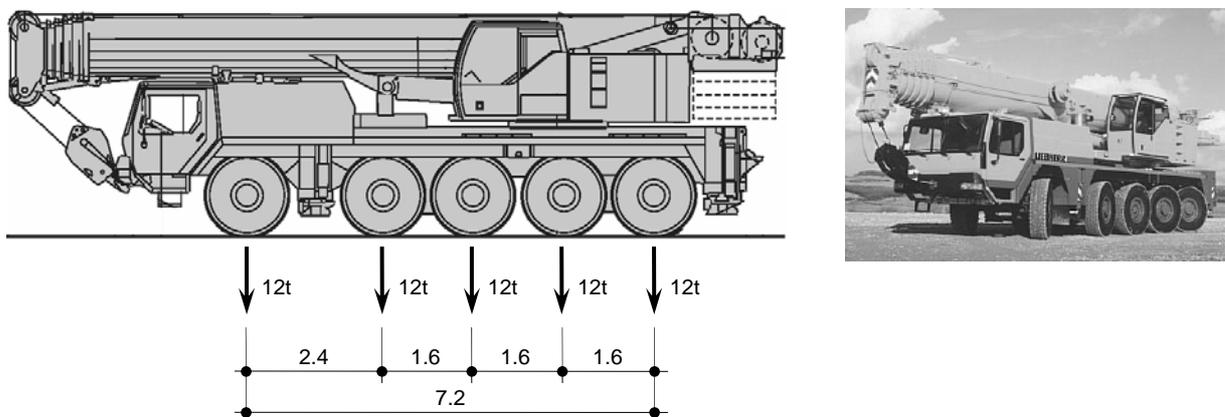


Bild 2.17 – 60 Tonnen Pneuکرan

Für diesen Fahrzeugtyp sind die Gewichtsschwankungen relativ gering, da die Ladung meistens konstant ist. Deshalb wird lediglich ein Lastfaktor von $\gamma_Q = 1.1$ angesetzt. Der dynamische Beiwert beträgt, wie bei den 40 Tonnen Baustellenlastwagen, ebenfalls 1.3.

Das verteilte Gewicht, berechnet über die Distanz zwischen der ersten und der letzten Achse der Fahrzeuge in Bild 2.16 und Bild 2.17 beträgt inklusive dem Lastfaktor γ_Q und dem dynamischen Beiwert, 115 respektive 119 kN/m. Das verteilte Gewicht dieses Baustellenlastwagens ist zwar kleiner, doch es ist möglich, dass die Ladung weniger gut verteilt sein könnte als die des Pneukrans. Es ist also schwierig zu sagen, welches das deterministische Fahrzeug ist.

2.4 MODELLIERUNG DES ZIRKULIERENDEN VERKEHRS

Neben der Definition von Typ und Eigenschaften der Fahrzeuge, muss ausserdem deren Anordnung festgelegt werden. Dieser Abschnitt zeigt, welche Annahmen bezüglich den Verkehrszuständen, den Distanzen zwischen den Fahrzeugen sowie der Aufteilung auf die verschiedenen Fahrstreifen getroffen werden müssen.

2.4.1 Verkehrszustände

Die Verkehrszustände einer Strasse können sehr unterschiedlich sein. Sie können sich im Verlauf des Jahres je nach Monat oder Woche oder sogar je nach Wochentag oder Uhrzeit verändern. Die Dichte und die Geschwindigkeit der Fahrzeuge sind also zu jedem Zeitpunkt unterschiedlich.

Die veränderlichen Zustände exakt zu simulieren erweist sich als sehr komplex und nicht zwingend nützlich. Zur Vereinfachung wird die Definition verschiedener Verkehrszustände bevorzugt und der Anteil des Verkehrs, der in den jeweiligen Zuständen verkehrt, wird bestimmt. Zum Beispiel zirkuliert $x\%$ des Verkehrs in einem Zustand « gesättigten, stehenden Verkehrs » mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 2 km/h, $y\%$ zirkuliert in einem Zustand « gesättigten, langsamen Verkehrs » mit 30 km/h und der Rest in einem Zustand « flüssigen Verkehrs » mit einer Geschwindigkeit v entsprechend dem Strassentyp. Die Distanz zwischen den Fahrzeugen ist abhängig von der Fahrtgeschwindigkeit des Verkehrs.

In früheren Simulationen [Bez, 1989] [Bailey, 1996] wurde festgestellt, dass der Zustand « gesättigter, stehender Verkehr » für die Tragsicherheit massgebend ist. Deshalb wird für die Simulationen dieser Studie nur dieser Verkehrszustand berücksichtigt.

Für die Simulationen musste sowohl ein repräsentativer Prozentsatz des Verkehrs, welcher im Zustand « gesättigter, stehender Verkehr » auf den schweizer Strassen und Autobahnen zirkuliert, als auch die Verkehrsentwicklung in den nächsten 15 bis 20 Jahren abgeschätzt werden. Dieser Wert wird des Weiteren $p_{\text{gesätt}}$ genannt. Ausser in den Stauberichten, welche jedes Jahr durch das ASTRA herausgegeben werden, sind praktisch keine Informationen vorhanden um diesen Wert abzuschätzen. Der Bericht [ASTRA, 2004.3] zeigt eine starke Zunahme der Anzahl Staustunden auf den Nationalstrassen seit Mitte der 90er Jahre auf. Diese Entwicklung basiert hauptsächlich auf der Zunahme des Verkehrs und der daraus folgenden Überlastung. Die Autoren rechnen mit einem Fortsetzen dieser Tendenz für die nächsten Jahre, doch genaue Prognosen können nicht erstellt werden.

Der Bericht über den 40-Tonnen-Verkehr [ASTRA, 2001] schlägt einen Prozentsatz von 1% an gesättigtem, stehendem Verkehr vor. Aufgrund der erwarteten Verkehrszunahmen wurde beschlossen für die Simulationen dieser Studie einen Anteil an gesättigtem, stehendem Verkehr $p_{\text{gesätt}} = 2\%$ zu berücksichtigen und zwar sowohl für Strassen mit Gegenverkehr als auch für Autobahnen. Am häufigsten bilden sich Staus auf Autobahnen infolge einer Baustelle mit der Verkehrsführung 4-0, dargestellt in Bild 2.2. Für diese Situation wird ein Wert von $p_{\text{gesätt}} = 10\%$ angenommen.

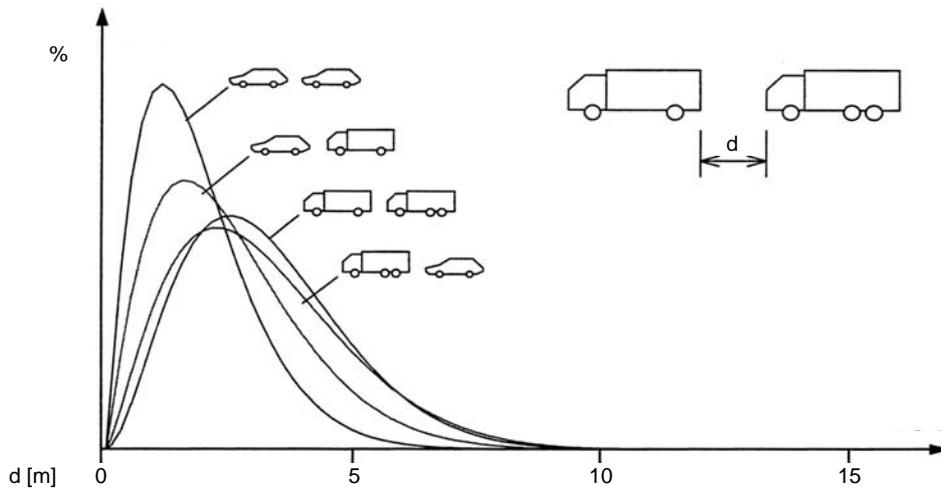
2.4.2 Distanz zwischen den Fahrzeugen

Die Distanz zwischen den Fahrzeugen ist ein Zufallsparameter, der in Abhängigkeit der Verkehrszustände variieren kann. Der Typ der Verteilung, der sowohl die Distanz zwischen den Fahrzeugen, als auch die Variation des Parameters in Funktion der Geschwindigkeit oder des Verkehrsvolumens beschreibt, wurde bereits in mehreren Studien untersucht [Buckland, 1975] [Koshini, 1985] [Flint & Neill, 1986] [Bez, 1989].

Die Distanzen zwischen den Fahrzeugen beim « flüssigen » und beim « gesättigten » Verkehr werden gemäss dieser Studien folgendermassen definiert :

- Flüssiger Verkehr : Die Folge von Fahrzeugen entspricht einem Poisson'schen Prozess ; Die Zeit zwischen den verschiedenen Fahrzeugen (also indirekt die Distanz zwischen den Fahrzeugen) kann durch eine Exponentialverteilung dargestellt werden, welche in Abhängigkeit des Verkehrsvolumens variiert.
- Gesättigter Verkehr : Die Distanz zwischen den Fahrzeugen kann durch eine Beta-Verteilung dargestellt werden, welche in Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Verkehrs variiert.

Wie im vorhergehenden Abschnitt vorgeschlagen, wird in dieser Studie der « gesättigte, stehende Verkehr » simuliert. Das Bild 2.18 zeigt die Beta-Verteilungen der Distanzen d unter der Berücksichtigung der Reihenfolge der Fahrzeugtypen die sich folgen. Bei allen Verteilungen beträgt die Distanz mindestens 0.1 m, maximal 15 m und im Mittelwert zwischen 1.9 und 3.3 m



Reihenfolge der Fahrzeugtypen	Eigenschaften der Beta-Verteilungen					
	A	B	Alpha	Beta	μ	σ
 	0.1	15	2.93	10.8	3.28	1.59
 	0.1	15	2.41	9.18	3.20	1.70
 	0.1	15	2.15	10.9	2.55	1.47
 	0.1	15	2.15	15.5	1.92	1.13

Bild 2.18 – Distanz zwischen stehenden Fahrzeugen nach [Bailey, 1996], Seite 55-56

2.4.3 Aufteilung auf die Fahrstreifen

Der Anordnung der Strasse entsprechend haben die Fahrzeugtypen eine gewisse Wahrscheinlichkeit sich auf dem einen oder anderen Fahrstreifen zu befinden. Zum Beispiel auf einer Autobahn mit zwei Fahrstreifen ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Schwerverkehr auf dem linken Streifen (der Überholspur) fährt, viel kleiner als dass er auf dem rechten fährt.

Man muss für jeden Fahrzeug- und für jeden Strassentyp, die Aufteilung auf die Fahrstreifen definieren. Für die Strassen mit Gegenverkehr wird eine Verkehrszusammensetzung von 50% jeder Fahrzeugklasse auf jedem Fahrstreifen vorgeschlagen. Für die Autobahnen wird aufgrund der Datenanalyse von Mattstetten angenommen, dass im Mittel nur etwa 4% des Schwerverkehrs den linken Fahrstreifen benutzen. Da der Einfluss der Aufteilung auf die Fahrstreifen nicht bekannt ist, wurde beschlossen, neben einem Durchschnittsfall⁽²⁾ noch zwei Extremfälle mit 15%⁽¹⁾ respektive 0%⁽³⁾ Schwerverkehr auf dem linken Fahrstreifen zu untersuchen (Tabelle 2.4). Dabei wurde angenommen, dass ein Fahrzeug mit mehreren Achsen auch schwerer ist und deshalb mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit auf der Überholspur zu finden sein wird.

Tabelle 2.4 – Aufteilung des Schwerverkehrs auf die Fahrstreifen (links-rechts)

Strasse mit Gegenverkehr	Zweispurige Autobahn			
Alle Fahrzeuge : 50% - 50%	Mittelwert :	15% - 85% ⁽¹⁾	4% - 96% ⁽²⁾	0% - 100% ⁽³⁾
	2 und 3 Achsen :	20% - 80%	6% - 94%	0% - 100%
	4 Achsen :	15% - 85%	3% - 97%	0% - 100%
	5 und 6 Achsen :	10% - 90%	3% - 97%	0% - 100%

Bei der zweispurigen Autobahn wurde die Aufteilung des leichten Verkehrs auf die Fahrstreifen nicht definiert. Möchte man die Zusammensetzung und die Aufteilung des leichten Verkehrs berücksichtigen, wäre vor jeder Simulation eine aufwendige Parameteriteration erforderlich.

Für die Situation Autobahn mit Baustelle und einer Verkehrsführung von 4-0 wird eine Aufteilung des Schwerverkehrs auf die Fahrstreifen von 50% - 0% - 0% - 50% angenommen.

3 SIMULATION DES VERKEHRS

Um die Berechnungen dieser Studie durchzuführen, wurde am ICOM ein neues Simulationsprogramm entwickelt. Dank seiner grossen Flexibilität bei den Eingabeparametern ist es möglich, alle im vorhergehenden Kapitel definierten Hypothesen einzuschliessen. Das Bild 3.1 zeigt einen Augenblick aus der Simulation in der die Fahrzeuge, die Achsen und ihre Position auf der Brücke erkennbar sind. Es handelt sich dabei um einen beliebigen Moment, der nicht zwingend eine Extremsituation mit maximalen Auswirkungen darstellen muss.

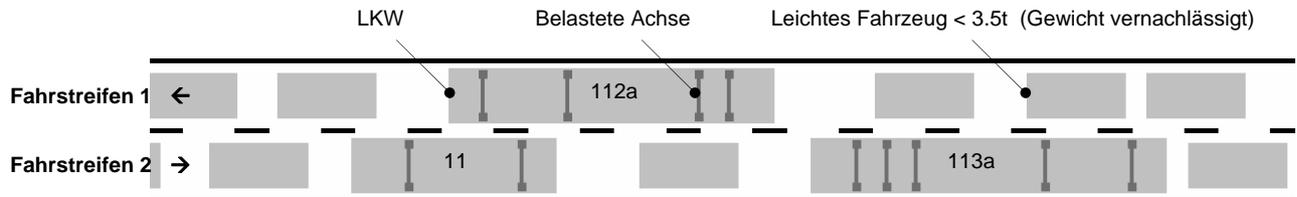


Bild 3.1 – Augenblick aus der Verkehrssimulation im Zustand « gesättigter, stehender Verkehr »

Für die Simulationen werden x Mal N Fahrzeuge die Brücke passieren. Dabei wird jedes Mal die maximale Schnittkraft ermittelt. Anschliessend werden die maximalen Schnittkräfte in einer statistischen Verteilung dargestellt. Es wird ein Fraktile bestimmt, dessen Wert aus den Graphiken herausgelesen und als Bemessungswert definiert wird.

In diesem Kapitel wird zuerst die Methode zur Berücksichtigung der dynamischen Auswirkungen in den Simulationen beschrieben und anschliessend werden die Werte N und x sowie das Fraktile definiert. Zum Schluss wird der Verkehr aus den untersuchten Wägestationen verglichen und eine Wahl über die in dieser Studie zu simulierenden Verkehrsströme getroffen.

3.1 DYNAMISCHER BEIWER

Die Norm SIA 261 schreibt, ausser in der Nähe der Fahrbahnübergänge (SIA 261, Ziffer 10.3.4), keinen dynamischen Beiwert vor. Die alte Norm (SIA 160, Einwirkungen auf Tragwerke, Ausgabe 1989) berücksichtigt hingegen einen dynamischen Beiwert von 1.8. Bei einem Vergleich der Lasten der beiden Normen stellt man fest, dass die charakteristischen Werte einer untersuchten Fahrzeuggruppe identisch sind. Daraus kann man schliessen, dass die neue Norm bei den einwirkenden Lasten bereits einen dynamischen Beiwert von 1.8 berücksichtigt.

Für das Modell mit den aktualisierten Lasten muss also eine Lösung gefunden werden, welche es ermöglicht, Schnittkräfte zu erhalten, die die dynamischen Auswirkungen bereits berücksichtigen. Diese hängen sowohl vom Bauwerk (Spannweite, Ebenheit der Fahrbahn, ...) als auch von den Fahrzeugen (Anzahl, Typ, Federungssystem, ...) ab. Gemäss [ASTRA, 2004.1] kann der dynamische Beiwert vereinfacht als Funktion der totalen Verkehrslast auf das Bauwerk zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgedrückt werden, wie die Grafik in Bild 3.2 zeigt.

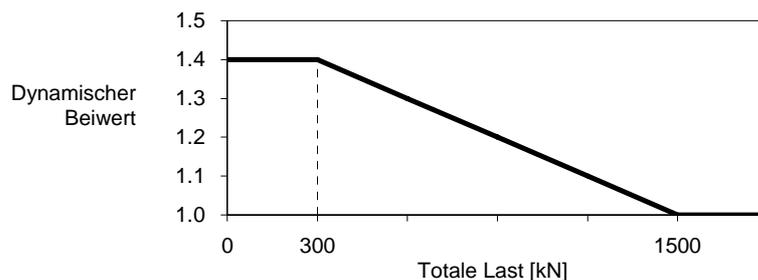


Bild 3.2 – Dynamischer Beiwert in Abhängigkeit der totalen Last [ASTRA, 2004.1]

Diese vereinfachte Methode zur Ermittlung des dynamischen Beiwerts wurde ins Verkehrssimulationsprogramm eingegeben, womit der dynamische Einfluss berücksichtigt werden konnte. Im Anhang A.7 wird ein Vergleich dieser Methode mit anderen Näherungen gezeigt.

3.2 ANZAHL DER SIMULIERTEN FAHRZEUGE

Die Anzahl N der zu simulierenden Fahrzeuge wird aus der geplanten Nutzungsdauer, dem Anteil des zirkulierenden Verkehrs zur simulierten Bedingung « gesättigter, stehender Verkehr » und des durchschnittlichen, jährlichen Verkehrs hergeleitet. Man berechnet sie mit folgender Gleichung :

$$N = n \cdot p_{gesätt} \cdot T \cdot p_{sv}$$

- N [-] : Anzahl der zu simulierenden Fahrzeuge (leichte Fahrzeuge eingeschlossen)
- n [Fzg. / Jahr] : Durchschnittlicher, jährlicher Verkehr welcher das untersuchte Bauwerk überquert
- $p_{gesätt}$ [%] : Anteil des zirkulierenden Verkehrs im Zustand « gesättigter, stehender Verkehr »
- T [Jahr] : Geplante Nutzungsdauer
- p_{sv} [-] : Anteil des zirkulierenden Verkehrs mit Schwerverkehr

Die Simulation wird entsprechend dem für diese Studie festgelegten Zeitrahmen (Abschnitt 1.3) von T = 15 Jahren durchgeführt. Wie in Ziffer 2.2.3 erwähnt, müssen nur 2/3 des totalen Verkehrs simuliert werden, da das letzte Drittel lediglich aus Verkehr mit leichten Fahrzeugen besteht. Daher wird der Faktor $p_{sv} = 2/3$ in der Gleichung berücksichtigt.

Mit diesen letzten Annahmen und mit dem mittleren, jährlichen Verkehr n, welcher in Ziffer 2.2.4 festgelegt wurde, erhält man für eine normale Anordnung der Fahrbahn folgende Anzahl der zu simulierenden Fahrzeuge N :

Tabelle 3.1 – Anzahl zu simulierender Fahrzeuge N bei normaler Anordnung

Strasse mit Gegenverkehr	Zweispurige Autobahn
N = 1'000'000 Fzg.	N = 2'000'000 Fzg. / Richtung

Für die Anordnung auf einer Autobahn mit Baustelle und einer Verkehrsführung von 4-0 wird eine Nutzungsdauer von T = 1.5 Jahren, ein $p_{sv} = 2/3$ und ein $p_{gesätt} = 10\%$ angenommen (siehe Ziffer 2.4.1). Mit diesen Annahmen und unter der Berücksichtigung, dass der gesamte Verkehr über dieselbe Brücke verkehrt, wird eine totale Anzahl an Fahrzeugen von N = 2'000'000 Fahrzeugen angesetzt.

3.3 ANZAHL DER SIMULATIONEN

Um ein signifikantes Resultat zu erhalten, werden im Allgemeinen 1000 Simulationen mit der im vorherigen Abschnitt bestimmten Anzahl Fahrzeuge N durchgeführt. Das Bild 3.3 zeigt ein Beispiel der Verteilung der maximalen Momente im Mittelfeld eines Durchlaufträgers nach x = 1000 Simulationen.

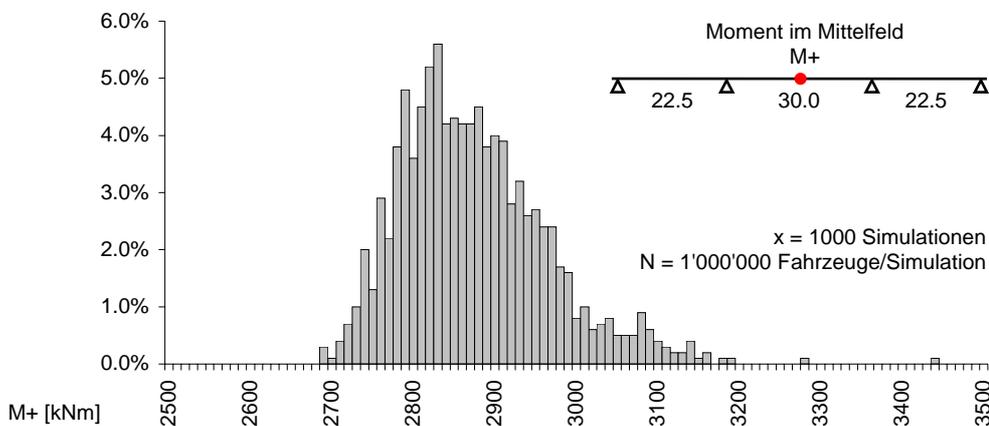


Bild 3.3 – Beispiel der Verteilung der durch 1000 Simulationen erhaltenen, maximalen Momente

3.4 BEMESSUNGSWERT

Das Simulationsprogramm liefert maximale Schnittkräfte, die teilweise mit statischen Lasten und teilweise unter der Berücksichtigung des dynamischen Beiwerts, nach [ASTRA, 2004.1] berechnet wurden. In Bild 3.4 werden die Resultate beider Berechnungen vergleichend dargestellt. Das 99% Fraktile der Verteilung aus der dynamischen Berechnung mit x Simulationen wird als Bemessungswert festgelegt. Im weiteren Bericht wird dieser Wert E_{sim} genannt.

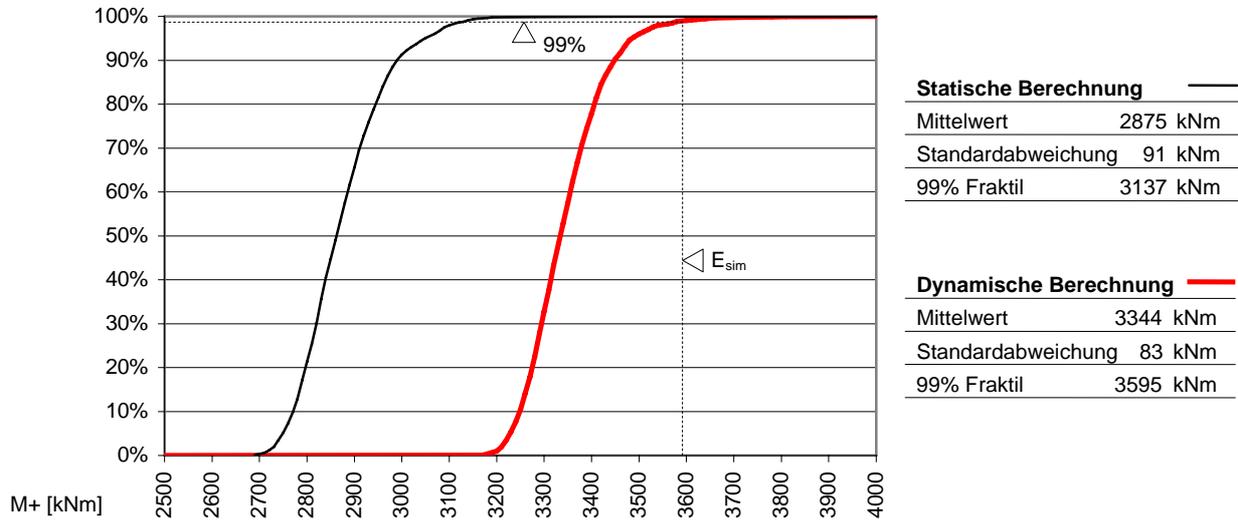


Bild 3.4 – Beispiel einer Verteilung der mit dem Simulationsprogramm erhaltenen Schnittkräften

3.5 SIMULIERTER VERKEHR

Das Bild 3.5 zeigt die statistischen Verteilungen des totalen Gewichts aus den sieben aufgelisteten Wägestationen. Die achte Kurve stellt die Gewichtsverteilung gemäss Daten einer früheren Studie über den 40-Tonnen-Verkehr dar [ASTRA, 2001].

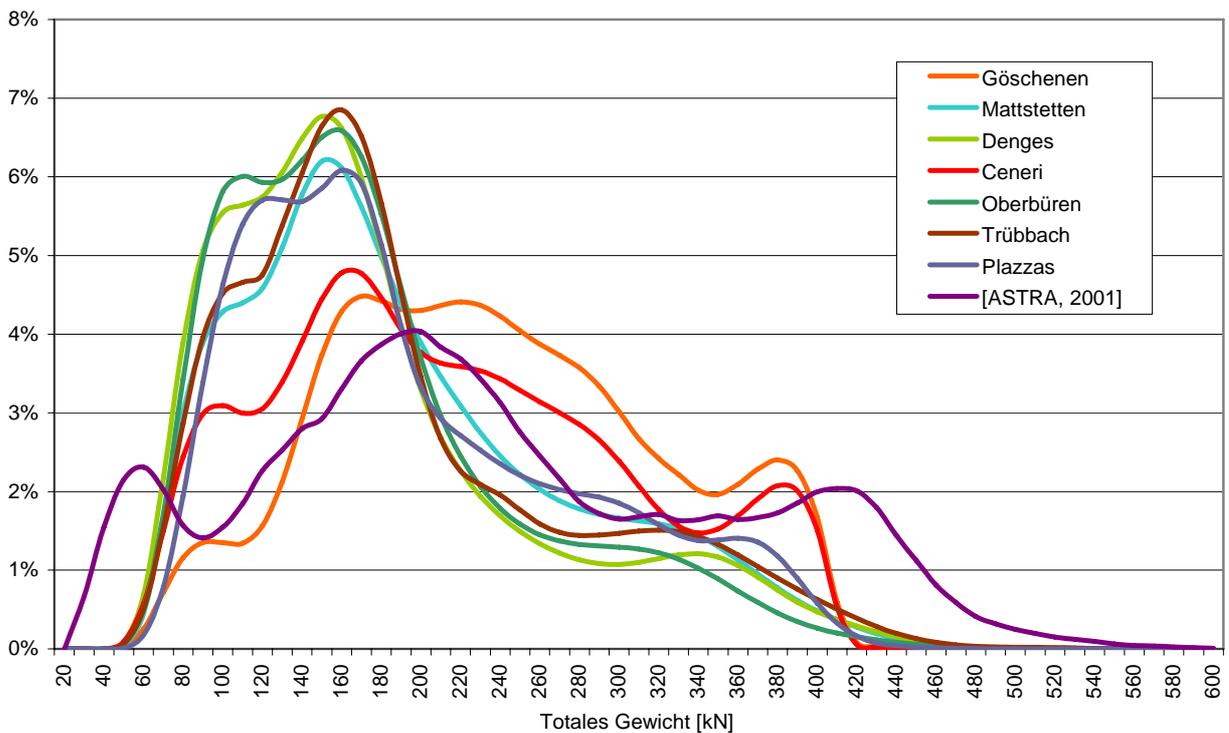


Bild 3.5 – Verteilung des totalen Gewichts der Fahrzeuge für den analysierten Verkehr

Im Vergleich mit den Histogrammen in Bild 2.11 erkennt man, dass die Kurven leicht verschieden sind. Dies kommt daher, weil die leichtesten Fahrzeuge jeder Klasse vernachlässigt und proportional durch schwerere Fahrzeuge ersetzt wurden. Die betrachtete Verteilung ist also etwas konservativ.

In Bild 2.11 ist der Unterschied zwischen dem « lokalen und nationalen » Verkehr sowie dem « Nord-Süd » Verkehr ersichtlich, der hauptsächlich aus internationalem und Transit Verkehr besteht. Die Verkehrsverteilungen von Mattstetten, Denges, Oberbüren und Trübbach sind sehr ähnlich und beinhalten mehrheitlich leicht- bis mittelschwere Fahrzeuge. Sie unterscheiden sich von der Verkehrsverteilung in Göschenen, welche einen viel grösseren Anteil an Schwerverkehr beinhaltet. Die Daten aus den Wägestationen Ceneri und Plazzas ergeben eine Verkehrsverteilung die zwischen den beiden anderen liegt, das heisst es zirkuliert sowohl « lokaler und nationaler » als auch « Nord-Süd » Verkehr.

Die Graphik zeigt auch, dass in den « lokalen und nationalen » Stationen Denges oder Mattstetten die Anzahl und der Prozentsatz der Überschreitungen der zulässigen Gewichtslimite von 40 Tonnen viel höher ist als beispielsweise im « Nord-Süd » Verkehr in Göschenen.

Diese Beobachtungen zeigen, dass es nicht unbedingt erforderlich ist, den gesamten Verkehr zu simulieren. Mit einem Anteil an Schwerverkehr von 29%, 14% respektive 7% wurde der Verkehr von Göschenen, Mattstetten und Denges für die Simulationen ausgewählt.

Der Verkehr von [ASTRA, 2001] weist viele überladene Fahrzeuge auf und ist daher signifikanter als andere Verkehrsströme. Deshalb wird auch dieser Verkehrsstrom genauer untersucht und dient als Vergleichsobjekt. Für ihn wird ein Anteil an Schwerverkehr von 25% berücksichtigt.

Die detaillierte Verteilung des totalen Gewichts für jede Fahrzeugklasse und für die Mehrheit der untersuchten Verkehrsströme befindet sich im Anhang A.4.

3.6 DETERMINISTISCHE BERECHNUNG

Bei kleinen Bauwerken ist es möglich, dass das Überqueren eines einzelnen, schwer beladenen Fahrzeugs die grösseren massgebenden Schnittkräfte ergibt, als mit den probabilistischen Simulationen. Daher werden die in Abschnitt 2.3.5 definierten, deterministischen Fahrzeuge ins Programm eingegeben und passieren individuell die zu untersuchende Brücke. Dabei wird angenommen, dass nur ein einzelnes Fahrzeug die Brücke überquert und zwar auf dem kritischen Fahrstreifen. Die berechneten Schnittkräfte werden bei der Erarbeitung eines aktualisierten Lastmodells berücksichtigt.

4 VERGLEICH ZWISCHEN DEN SIMULATIONEN UND DER NORM

Dieses Kapitel zeigt die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Vergleich der simulierten Schnittkräfte E_{sim} und den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräfte E_{SIA} auf.

4.1 VORGEHEN BEIM VERGLEICH

Das Grundprinzip besteht daraus die Schnittkräfte E_{sim} , welche durch die Simulation der verschiedenen Verkehrsströme erzeugt wurden, mit den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräften zu vergleichen. Diese werden des Weiteren E_{SIA} genannt.

Zur Ermittlung der Schnittkräfte E_{SIA} wurden die Lasten der Norm für die verschiedenen Brückentypen in Querrichtung verteilt wie das in Bild 4.1 oder im Schema des Abschnitts 2.1.2 dargestellt wird. In Längsrichtung werden die Lasten an die ungünstigste Stelle positioniert.

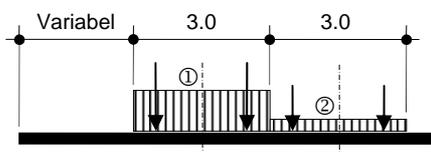


Bild 4.1 – Lasten der Norm SIA 261

Die Werte der charakteristischen Lasten sind :

① Fiktiver Fahrstreifen	$Q_{k1} = 300 \text{ kN}$	$q_{k1} = 9.0 \text{ kN/m}^2$	} × Beiwerte $\alpha_{Qr} = \alpha_{qr} = 0.9$
② Fiktiver Fahrstreifen	$Q_{k2} = 200 \text{ kN}$	$q_{k2} = 2.5 \text{ kN/m}^2$	

4.2 KASTENBRÜCKEN

Das Bild 4.2 zeigt das Verhältnis zwischen den simulierten und den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräften für Strassen mit Gegenverkehr. Die folgenden drei Schnittgrößen wurden berücksichtigt :

- Biegemoment M^- über dem Auflager bei einem Durchlaufträger
- Biegemoment M^+ im Mittelfeld bei einem einfachen Balken
- Schubbeanspruchung V bei einem einfachen Balken.

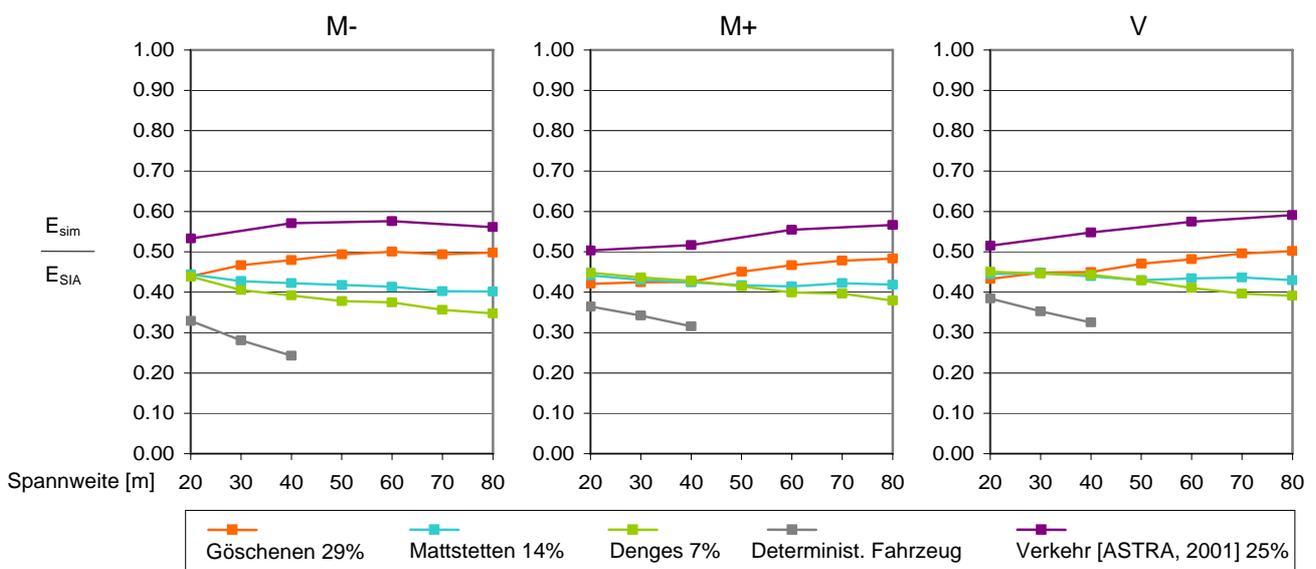


Bild 4.2 – Vergleich der Schnittkräfte :Kastenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr

Diese Resultate zeigen, dass das deterministische Fahrzeug für die Kastenbrücken nicht massgebend ist, und dass wie erwartet der Verkehr von [ASTRA, 2001] der Signifikanteste ist. Man sieht, dass im Durchschnitt das Verhältnis von E_{sim}/E_{SIA} aus den drei Verkehrsströmen der Wägestationen, unabhängig von der Spannweite oder der Schnittkraft, relativ konstant um 0.44 liegt.

Man stellt ausserdem fest, dass die Verkehrsströme aus Denges und Mattstetten, im Gegensatz zum Verkehr aus Göschenen, bei kleinen Spannweiten, oder genauer gesagt bei Einflusslinien die kleiner sind als 40 m, massgebend wird. Für das Biegemoment M^- kreuzen sich die Kurven bei 20 m Spannweite, was einer Einflusslinie von 20 m (Hauptspannweite) + 15 m (Nebenspannweite) = 35 m entspricht. Für das Biegemoment M^+ und die Schubbeanspruchung V , kreuzen sich die Kurven bei ungefähr 35 m Spannweite, was gerade der Länge der Einflusslinie entspricht. Im Gegensatz zu Göschenen, hat der Verkehr von Denges und Mattstetten einen grösseren Prozentsatz und höhere Werte von Überschreitungen der zulässigen 40 Tonnen Limite, dafür haben sie eine geringere Dichte an Schwerverkehr. Ebenfalls wurde gezeigt, dass einzelne, sehr schwere Fahrzeuge eher die Brücken mit geringer Spannweite beeinflussen. Ein Verkehrsstrom mit hoher Dichte an Schwerverkehr ist eher für die grossen Spannweiten massgebend.

Die Resultate zeigen, dass die Verhältnisse E_{sim}/E_{SIA} der Schnittkräfte M^+ und V bei einem Durchlaufträger viel kleiner sind als bei einem einfachen Balken. Da das vorgeschlagene, aktualisierte Modell beide statischen Systeme betrachtet, genügt es, den massgebenderen Fall zu berücksichtigen, in diesem Fall den einfachen Balken. Deshalb sind die Verhältnisse der Schnittkräfte M^+ und V des Durchlaufträgers nicht dargestellt.

In Bild 4.3 sind die Verhältnisse zwischen den simulierten und den nach der Norm SIA 261 berechneten Momente im Mittelfeld dargestellt. Sie gelten für eine zweispurige Autobahn mit verschiedenen Aufteilungen des Schwerververkehrs auf die Fahrstreifen.

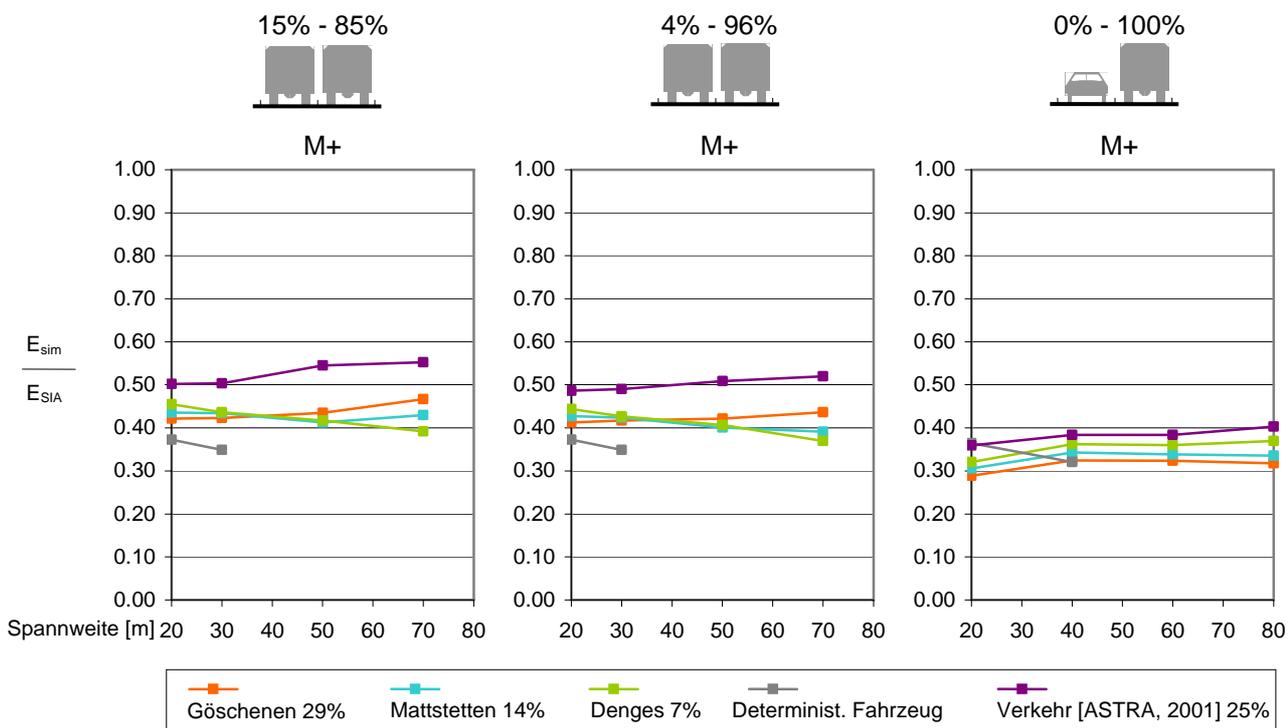


Bild 4.3 – Vergleich der Schnittkräfte : Kastenbrücken, zweispurige Autobahn, M^+ im Mittelfeld

Bei den Autobahnen stellt man fest, dass die Aufteilung auf die Fahrstreifen nur einen kleinen Einfluss auf das Verhältnis E_{sim}/E_{SIA} hat, ausser in dem Fall wo sich der gesamte Schwerverkehr auf einem Fahrstreifen befindet (0% - 100%). Doch dieser Fall ist nicht massgebend. Für die anderen Aufteilungen liegt der Mittelwert des Verhältnisses E_{sim}/E_{SIA} der drei Verkehrsströme aus den Wägestationen bei ca. 0.42. Das heisst, dass das Verhältnis bei Strassen mit Gegenverkehr leicht geringer ist. Man muss noch anmerken, dass

sich für diese drei Verkehrsströme, sowohl bei Strassen mit als auch ohne Gegenverkehr, die Kurven sich bei ungefähr 35 m kreuzen.

4.3 ZWEISTEGIGE BRÜCKEN

Das Bild 4.4 zeigt die Verhältnisse zwischen den simulierten und den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräfte auf Strassen mit Gegenverkehr und für die folgenden drei Schnittgrössen :

- Biegemoment M^- über dem Auflager bei einem Durchlaufträger
- Biegemoment M^+ im Mittelfeld bei einem einfachen Balken
- Schubbeanspruchung V bei einem einfachen Balken

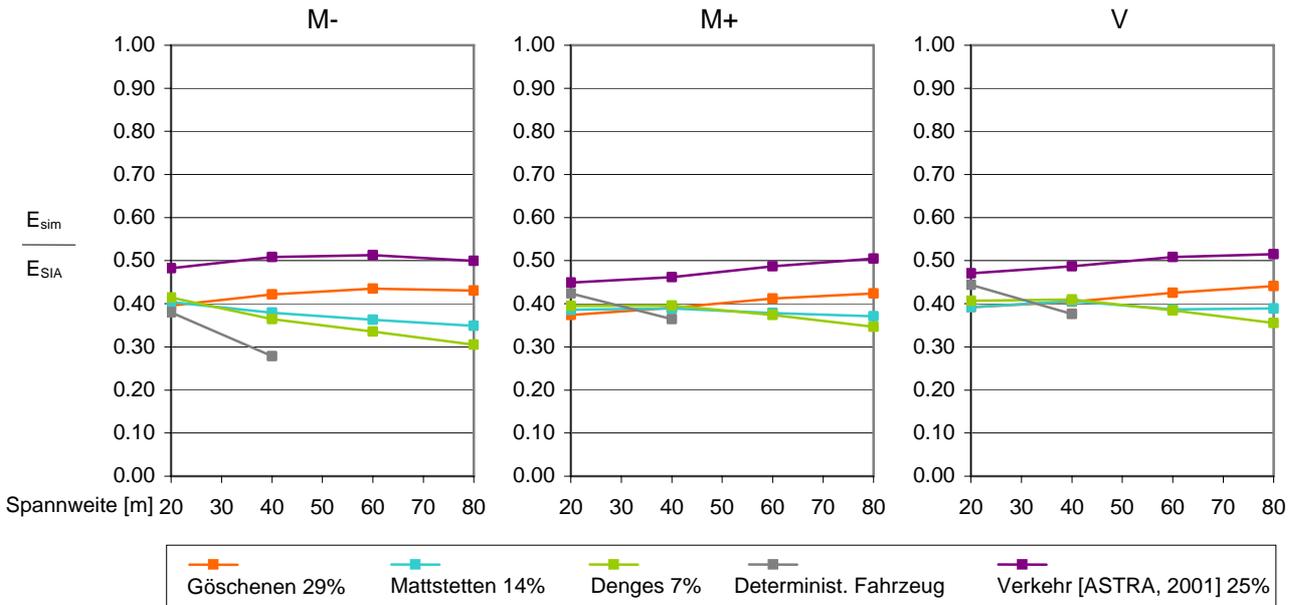


Bild 4.4 – Vergleich der Schnittkräfte : Zweistegige Brücken, Strasse mit Gegenverkehr

Im Gegensatz zu den Kastenbrücken stellt man bei den zweistegigen Brücken fest, dass das deterministische Fahrzeug in einigen Fällen ausschlaggebend sein kann. Bis zu einer Einflusslinie von ungefähr 30 m, ist dessen Verhältnis E_{sim}/E_{SIA} grösser als das Verhältnis aus den Daten der drei Wägestationen. Der stärkere Einfluss eines Fahrstreifens auf den anderen (transversale Verteilung 0.9 - 0.1 gemäss Bild 2.4) bei zweistegigen Brücken erklärt diese Beobachtung. Ansonsten sind die Resultate denen der Kastenbrücke sehr ähnlich jedoch mit einem noch kleineren, mittleren Verhältnis von E_{sim}/E_{SIA} von ungefähr 0.39 anstatt 0.44 (Bild 4.2).

Das Bild 4.5 zeigt das Verhältnis zwischen dem simulierten und dem nach der Norm SIA 261 berechneten Moment im Mittelfeld für Strassen mit Gegenverkehr und für die drei in Bild 2.5 dargestellten Varianten von zweistegigen Brücken.

Die Resultate weisen sehr schwache Unterschiede zwischen den verschiedenen untersuchten, zweistegigen Brücken auf. Man kann daraus schliessen, dass der vorgeschlagene Standardfall eine Verallgemeinerung der Resultate auf die meisten zweistegigen Brücken erlaubt.

Das Bild 4.6 zeigt das Verhältnis zwischen dem simulierten und dem nach der Norm SIA 261 berechneten Moment für eine zweispurige Autobahn. Die drei Graphiken zeigen die Resultate für verschiedene Aufteilungen des Schwerververkehrs auf die Fahrstreifen auf.

Im Gegensatz zu den Kastenbrücken, ist bei den zweistegigen Brücken der Fall mit dem gesamten Schwerverkehr auf einem Fahrstreifen (0% - 100%) massgebend. Der starke Einfluss einer Fahrbahn auf die andere erklärt diese Beobachtung. Das Verhältnis E_{sim}/E_{SIA} aus dem Verkehrsstrom von Denges beträgt für

alle Spannweiten 0.44, somit ist der Fall einer zweispurigen Autobahn signifikanter als der Fall einer Strasse mit Gegenverkehr.

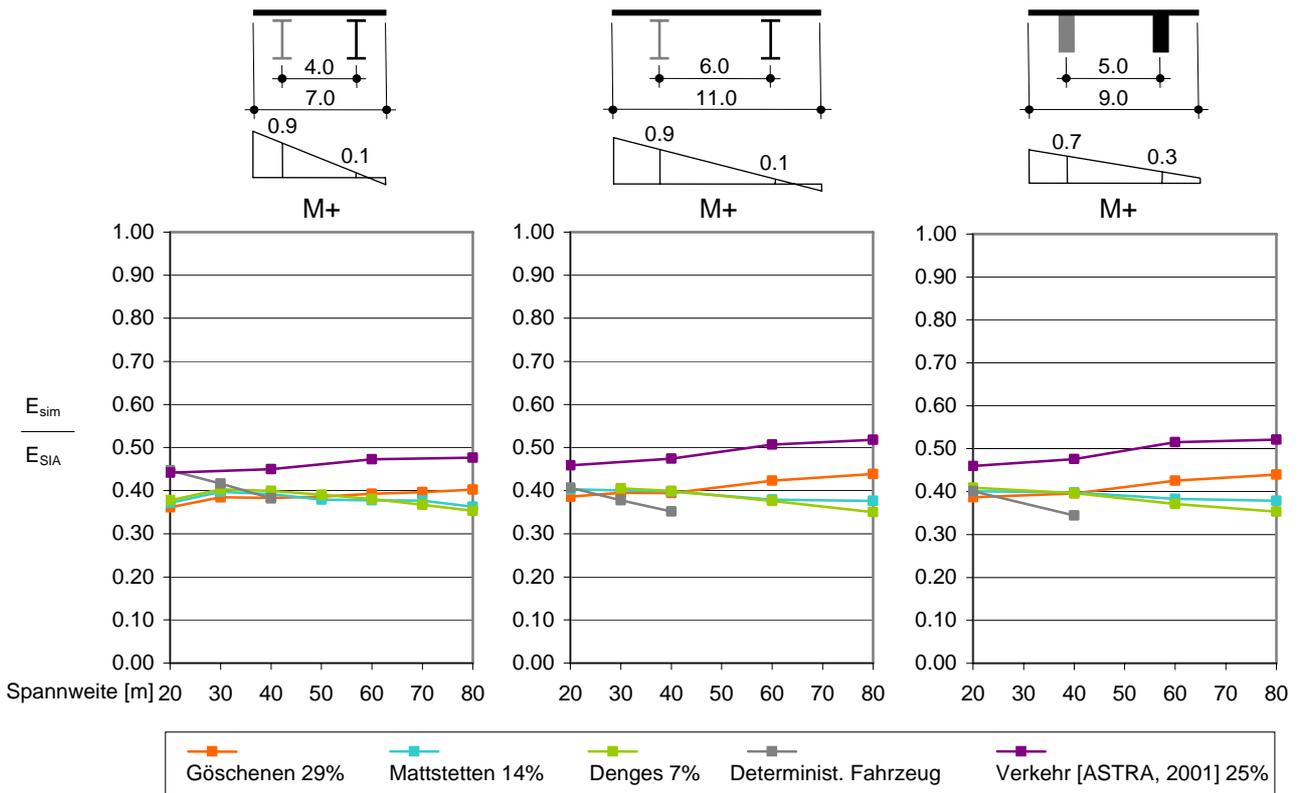


Bild 4.5 – Vergleich der Schnittkräfte : zweistegige Brücken, Strasse mit Gegenverkehr, M+ im Mittelfeld

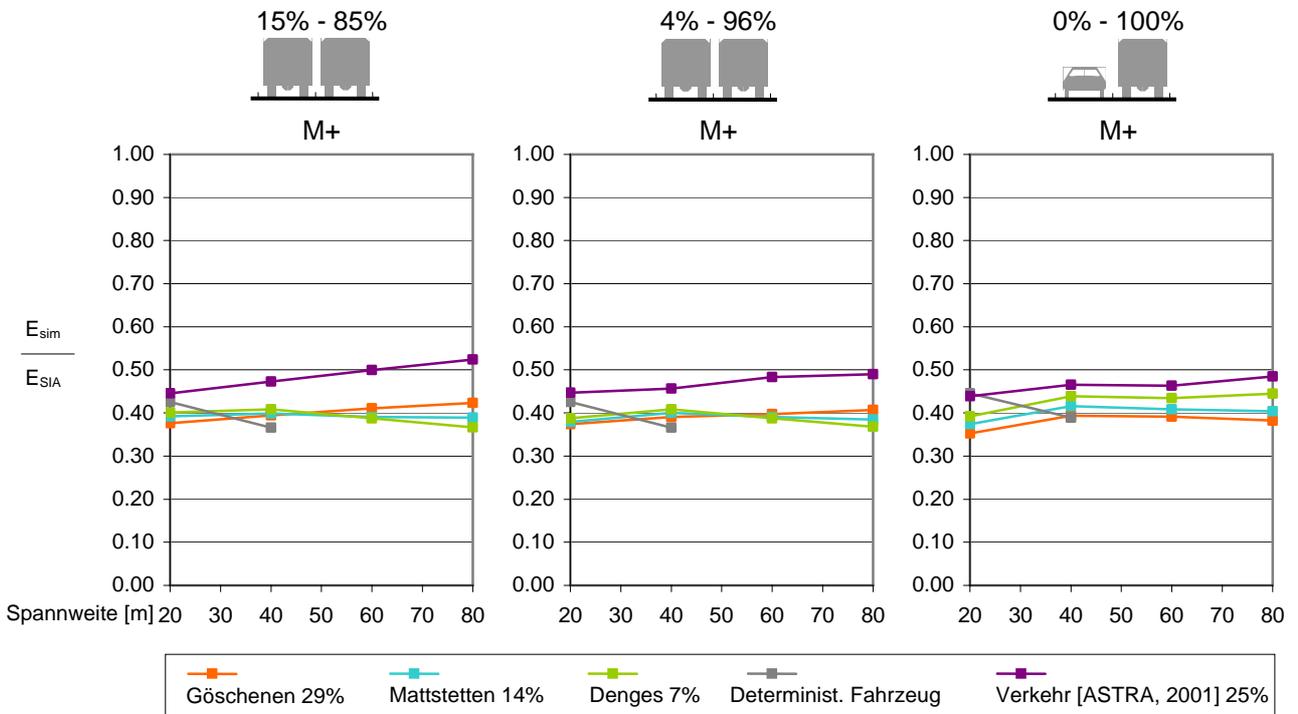


Bild 4.6 – Vergleich der Schnittkräfte : zweistegige Brücken, zweispurige Autobahnen, M+ im Mittelfeld

4.4 MEHRSTEGIGE BRÜCKEN

Das Bild 4.7 zeigt den Zusammenhang zwischen dem simulierten und dem nach der Norm SIA 261 berechneten Moment im Mittelfeld für Strassen mit Gegenverkehr und für drei untersuchte Träger von mehrstegigen Brücken.

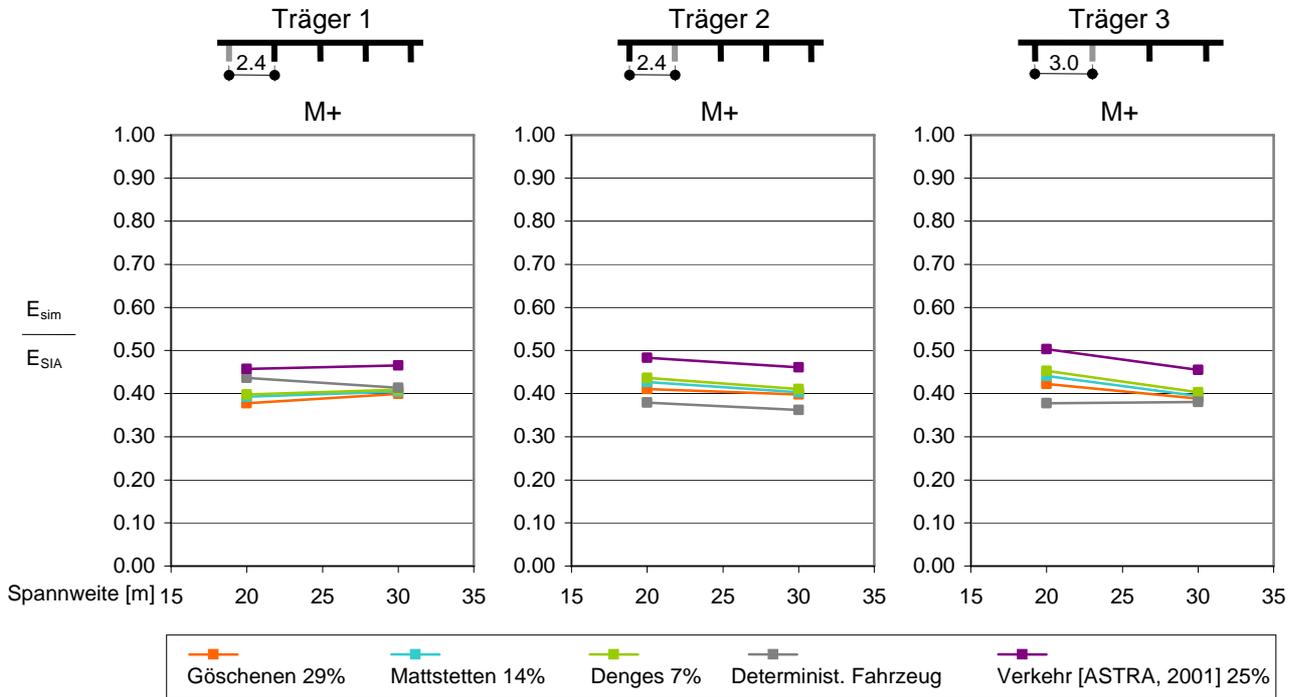


Bild 4.7 – Vergleich der Schnittkräfte : mehrstegige Brücken, Strasse mit Gegenverkehr, M+ im Mittelfeld

Das Bild 4.8 zeigt den Zusammenhang zwischen dem simulierten Moment über dem Auflager und dem nach der Norm SIA 261 berechneten Moment über dem Auflager für Strassen mit Gegenverkehr und für die drei untersuchten Träger von mehrstegigen Brücken.

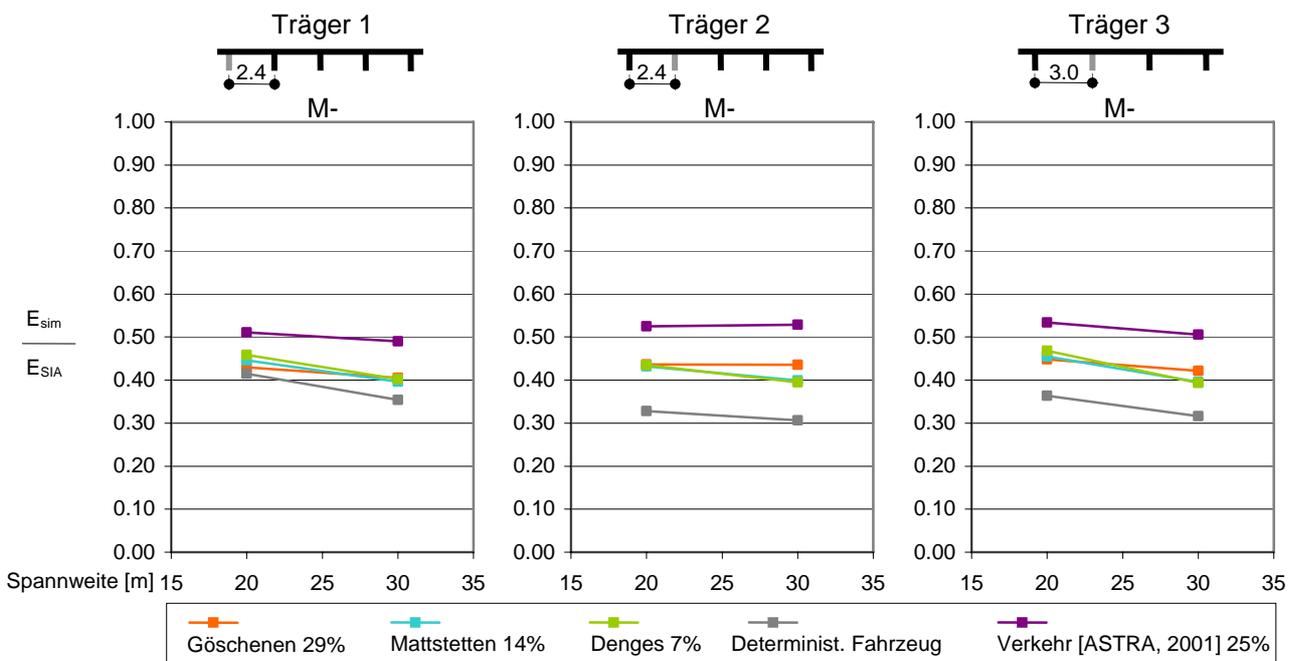


Bild 4.8 – Vergleich der Schnittkräfte : mehrstegigen Brücken, Strasse mit Gegenverkehr, M- über dem Auflager

Für die verschiedenen Träger, Spannweiten und Schnittkräfte ist das Verhältnis E_{sim}/E_{SIA} relativ konstant. Für die drei Verkehrsströme aus den Wägestationen liegen die Werte zwischen 0.40 und 0.45. Man stellt fest, dass das deterministische Fahrzeug für den Randträger (Träger 1) am Signifikantesten ist.

4.5 PLATTENBRÜCKEN

Das Bild 4.9 zeigt das Verhältnis zwischen dem simulierten Moment im Mittelfeld und dem nach der Norm SIA 261 berechneten Moment im Mittelfeld für Strassen mit Gegenverkehr und für die drei untersuchten Schnitte.

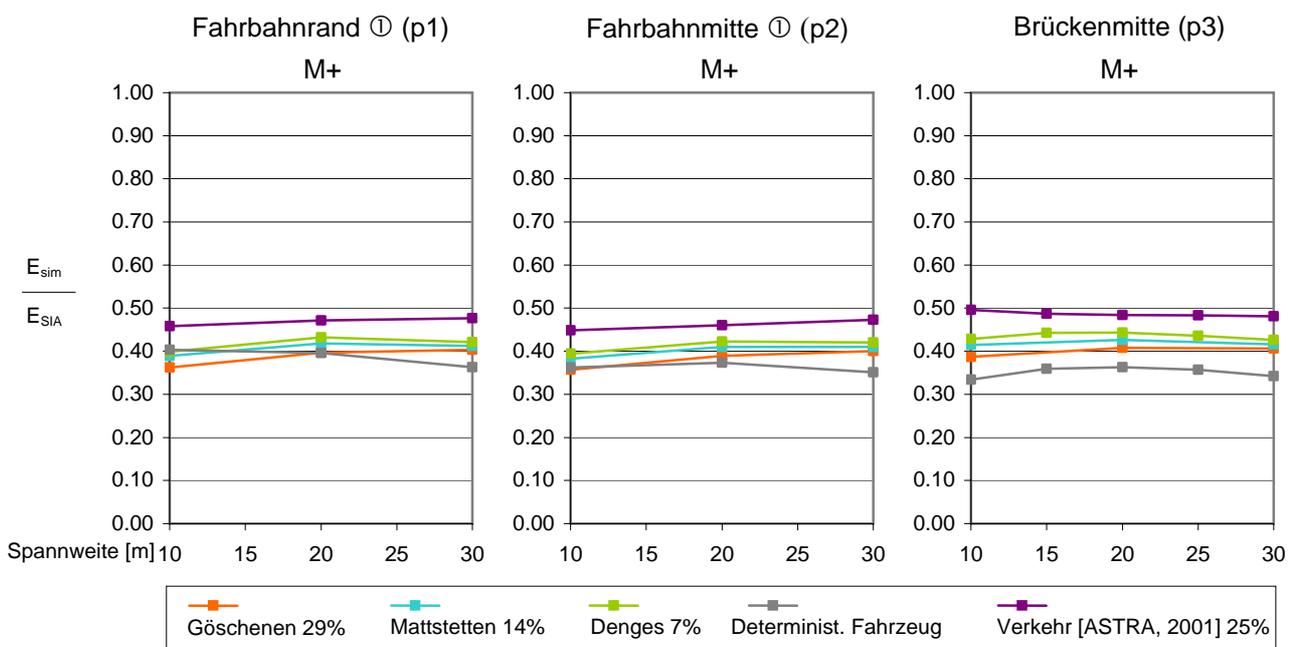


Bild 4.9 – Vergleich der Schnittkräfte : Plattenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr, M+

Das Bild 4.10 zeigt den Zusammenhang zwischen dem simulierten und dem nach der Norm SIA 261 berechneten Moment im Rahmeneck für Strassen mit Gegenverkehr und für die drei untersuchten Schnitte (gemäss Bild 2.7 in Ziffer 2.1.2).

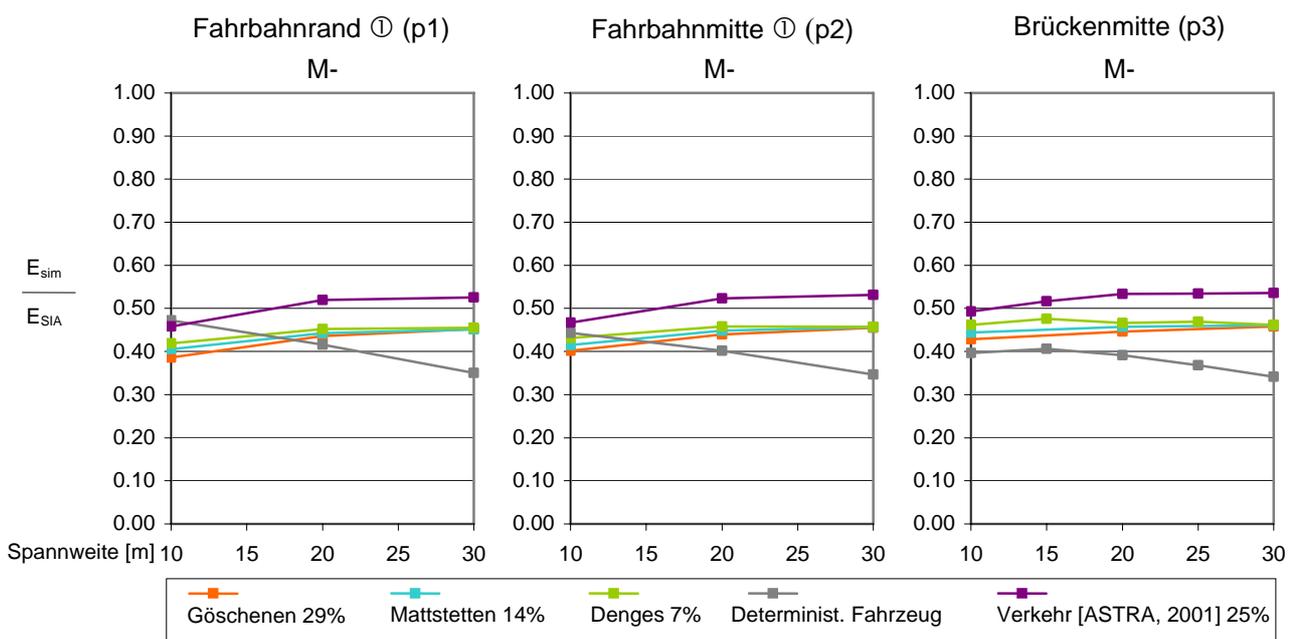


Bild 4.10 – Vergleich der Schnittkräfte : Plattenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr, M-

Für die verschiedenen untersuchten Schnittkräfte an den Plattenbrücken, liegt das Verhältnis E_{sim}/E_{SIA} der drei Verkehrsströme aus den Wägestationen wie schon bei den mehrstegigen Brücken zwischen 0.40 und 0.45. Für kleine Spannweiten ist das deterministische Fahrzeug ausschlaggebend, insbesondere für die Schnittkräfte am Plattenrand.

Man stellt auch hier, wie schon bei den Kastenbrücken und den zweistegigen Brücken fest, dass für die Einflusslinien kleiner als 35 m der Verkehr von Denges massgebend ist.

Das Bild 4.11 zeigt das Verhältnis zwischen dem simulierten und dem nach der Norm SIA 261 berechneten Moment im Mittelfeld in Brückenmitte (p3) für Strassen mit Gegenverkehr und für drei verschiedene Auflagerbedingungen der Platte.

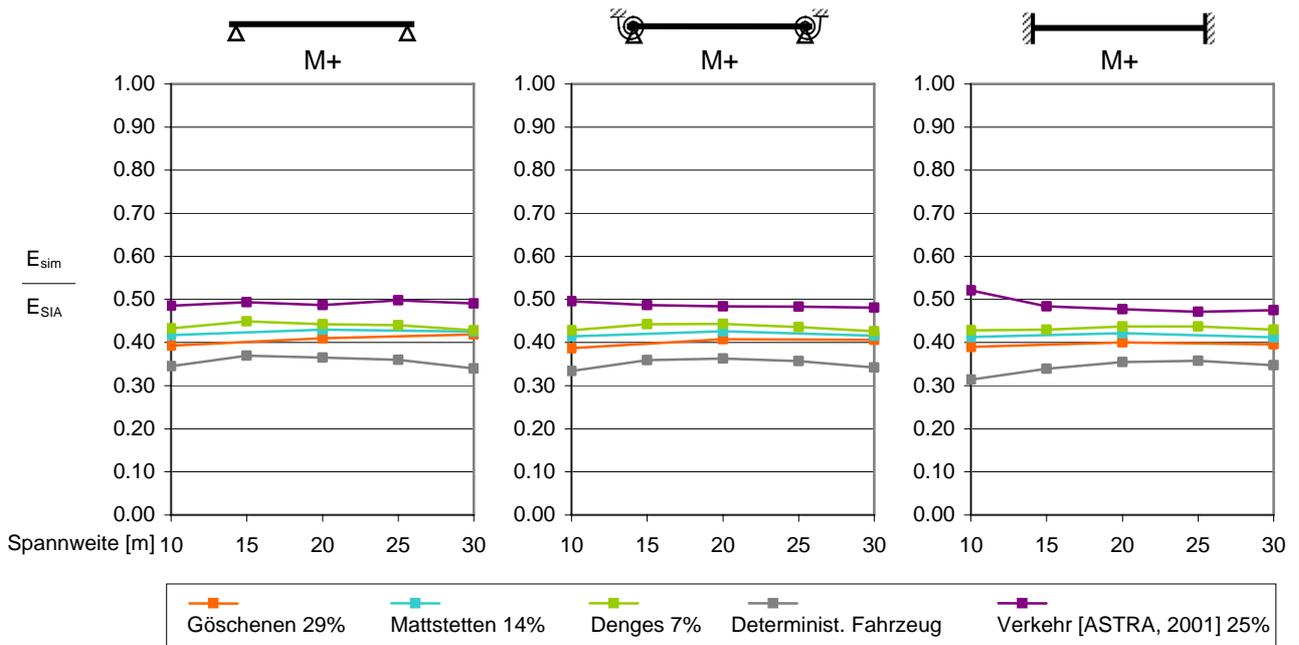


Bild 4.11 – Vergleich der Schnittkräfte : Plattenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr, M+ in Brückenmitte (p3)

Man stellt fest, dass der Einfluss der Auflagerbedingungen auf das Verhältnis E_{sim}/E_{SIA} nur gering ist. Das aktualisierte Modell, welches aufgrund dieser Resultate vorgeschlagen wird, ist somit für die meisten Plattenbrücken gültig.

4.6 SITUATION AUTOBAHN MIT BAUSTELLE

Für die Situation einer Autobahn mit Baustelle werden die nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräfte aufgrund der in Bild 4.12 gezeigten, transversalen Verteilung der Lasten ermittelt.

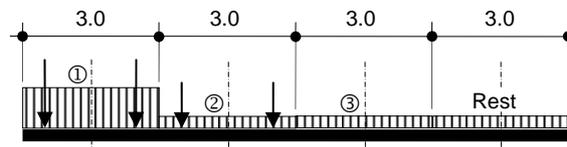


Bild 4.12 – Lasten gemäss der Norm SIA 261 zur Berücksichtigung der Situation Autobahn mit Baustelle

Die charakteristischen Werte der Lasten sind die folgenden :

① Fiktiver Fahrstreifen	$Q_{k1} = 300 \text{ kN}$	$q_{k1} = 9.0 \text{ kN/m}^2$	} × Beiwerte $\alpha_{Qr} = \alpha_{qr} = 0.9$
② Fiktiver Fahrstreifen	$Q_{k2} = 200 \text{ kN}$	$q_{k2} = 2.5 \text{ kN/m}^2$	
③ Fiktiver Fahrstreifen		$q_{k2} = 2.5 \text{ kN/m}^2$	
Restfläche		$q_{k2} = 2.5 \text{ kN/m}^2$	

Das Bild 4.13 zeigt das Verhältnis zwischen den simulierten und den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräfte bei Kastenbrücken für Strassen mit Gegenverkehr und für die folgenden drei Schnittkräfte :

- Biegemoment M^- über dem Auflager bei einem Durchlaufträger
- Biegemoment M^+ im Mittelfeld bei einem einfachen Balken
- Schubbeanspruchung V bei einem einfachen Balken

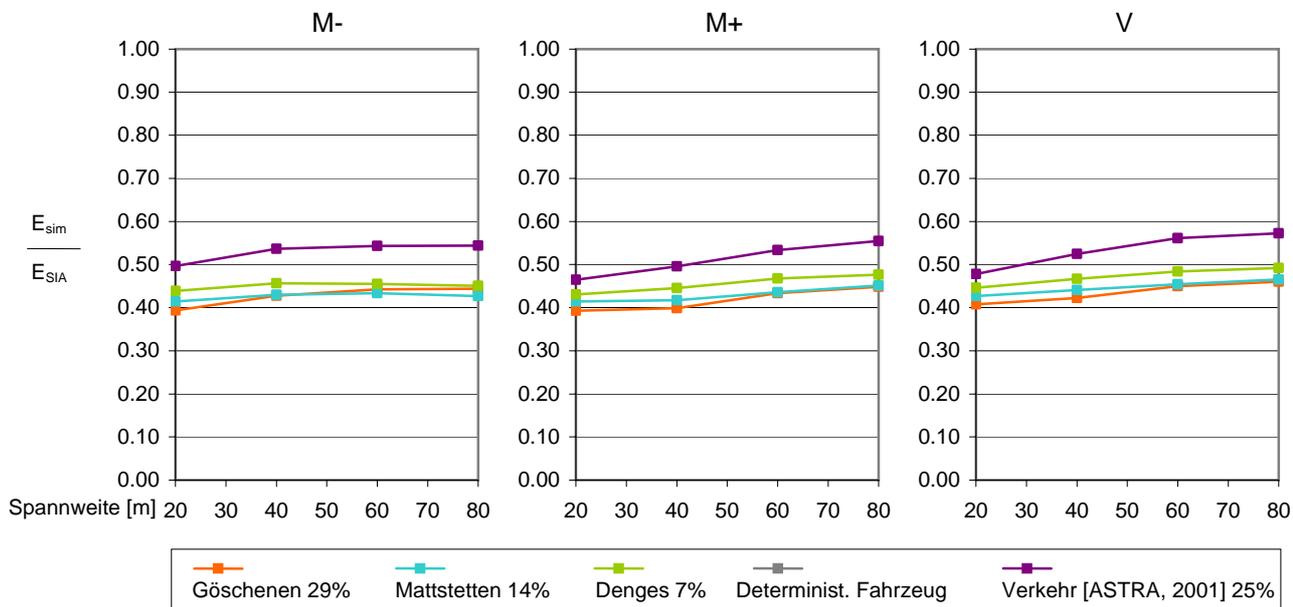


Bild 4.13 – Vergleich der Schnittkräfte : Kastenbrücken, Situation Autobahn mit Baustelle, Verkehrsführung 4-0

Man muss berücksichtigen, dass die Situation Autobahn mit Baustelle bei Kastenbrücken signifikanter ist als eine Standardsituation auf einer zweispurigen Autobahn. Im Durchschnitt liegt das Verhältnis E_{sim}/E_{SIA} , wie bei Strassen mit Gegenverkehr, für die drei Verkehrsströme der Wägestationen bei 0.44, egal für welche Schnittkraft.

Es wurde nicht als nötig erachtet die anderen Querschnittstypen ebenfalls zu untersuchen, denn die Auswirkung von zwei belasteten Fahrstreifen auf jeder Seite einer 12 m breiten Fahrbahn konzentriert sich bei den anderen Typen nicht nur auf ein einzelnes Element der Struktur, wie das bei den Kastenbrücken der Fall ist, sondern verteilt sich auf den Querschnitt. Für eine zweistegige Brücke zum Beispiel werden der erste Fahrstreifen durch den einen und der zweite Fahrstreifen durch den anderen Längsträger aufgenommen. Die Situation einer Autobahn mit Baustelle ist also nicht massgebend im Vergleich zur Standardsituation.

4.7 DYNAMISCHER BEIWERT

Das Bild 4.14 zeigt das Verhältnis zwischen den dynamischen und den statischen Schnittkräften aus den Simulationen. Dabei handelt es sich um das Moment im Mittelfeld. Die Simulationen wurden an einer Kastenbrücke und gemäss den Annahmen der Abschnitte 3.1 und 3.4 durchgeführt.

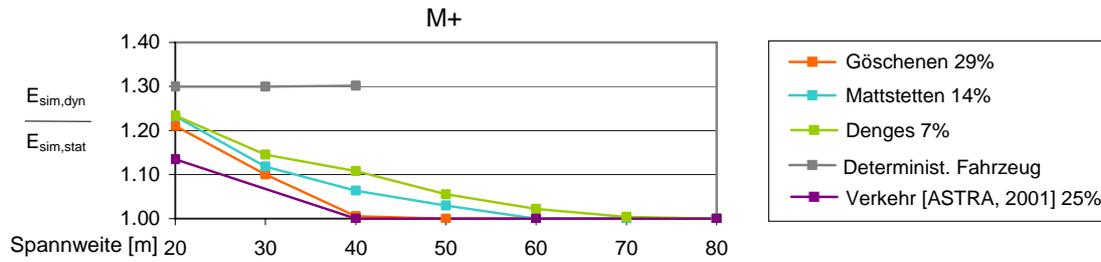


Bild 4.14 – Verhältnis zwischen den dynamischen und statischen Resultaten, Kastenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr

Logischerweise kann man bei der Zunahme der Spannweite eine Verringerung des Verhältnisses $E_{sim,dyn}/E_{sim,stat}$ feststellen. In Bild 3.2 wurde festgehalten, dass je höher die totale Last auf die Einflusslinie ist, desto mehr wird der dynamische Beiwert reduziert. Das grösste Verhältnis $E_{sim,dyn}/E_{sim,stat}$ wurde mit dem Verkehrsstrom von Denges erreicht, der zwar eine geringe Dichte an Schwerverkehr hat, dafür aber einzelne, sehr signifikante Fahrzeuge beinhaltet.

4.8 VERKEHRSENTWICKLUNG

Um den Einfluss einzelner Parameter auf die Resultate zu überprüfen, werden sie variiert. Mit den veränderten Parametern werden neue Simulationen durchgeführt. Im folgenden Abschnitt werden die modifizierten Werte kurz beschrieben :

- Modellieren einer Zunahme des prozentualen Anteils an Schwerverkehr im Verkehrsstrom
- Verändern der Verkehrszusammensetzung um eine Zunahme des durchschnittlichen, totalen Gewichts der Fahrzeuge zu implizieren
- Berücksichtigen eines Prozentsatzes an 44 Tonnen Fahrzeuge, welche für den unbegleiteten, kombinierten Transport (siehe Anhang A.9) verwendet werden oder eine Sonderbewilligung haben.

4.8.1 Prozentsatz an Schwerverkehr

Das Bild 4.15 zeigt das Verhältnis zwischen den simulierten und den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräfte für eine Kastenbrücke mit Gegenverkehr. Der prozentuale Anteil an Schwerverkehr in den Verkehrsströmen von Mattstetten und Denges wurde verdoppelt (gestrichelte Linien).

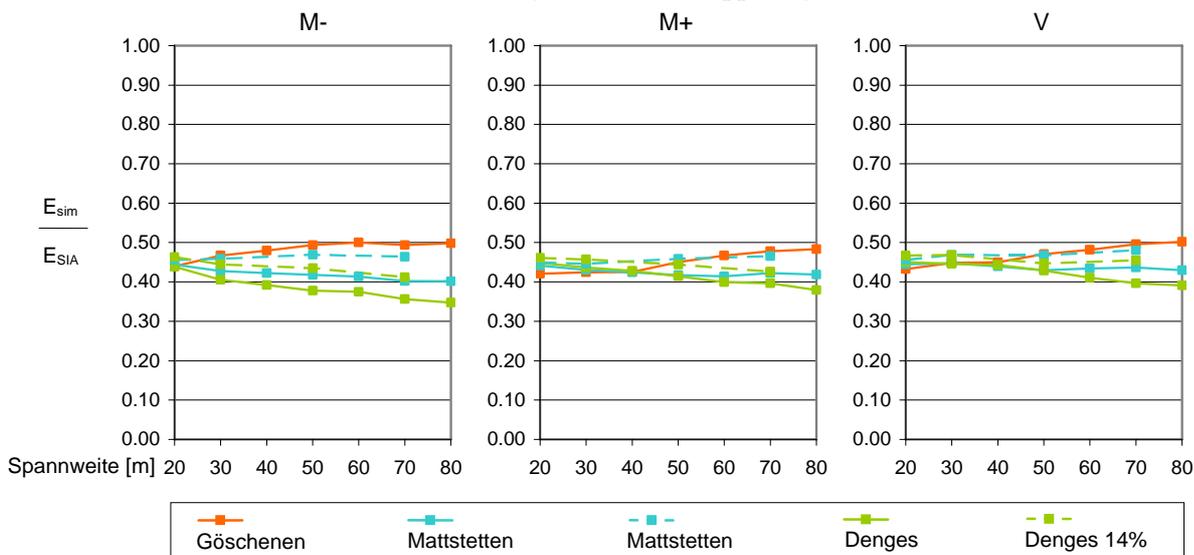


Bild 4.15 – Vergleich der Schnittkräfte : Kastenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr, % an Schwerverkehr variabel

Bei einer Verdoppelung des Prozentsatzes an Schwerverkehr nehmen die simulierten Schnittkräfte im Vergleich zur normalen Dichte an Schwerverkehr um ca. 5 bis 12% zu.

Ausserdem wird festgestellt, dass bei Einflusslinien bis 50 m Länge und gleichem prozentualen Anteil an Schwerverkehr (29%) der Verkehr von Mattstetten massgebender ist als der von Göschenen. Dies kommt daher, dass in Mattstetten einzelne, sehr signifikante Fahrzeuge kurieren, wo hingegen in Göschenen das mittlere, totale Gewicht der Fahrzeuge grösser ist.

4.8.2 Zusammensetzung und totales Gewicht

Das Bild 4.16 zeigt die Verteilung des totalen Gewichts der Fahrzeuge, einerseits basierend auf den wirklich auftretenden, in Göschenen gemessenen Verkehrsströmen und andererseits aufgrund einer Veränderung der Verkehrszusammensetzung.

Die Modifizierung dieses Parameters erfolgt hauptsächlich durch die Verringerung des Prozentsatzes einzelner Fahrzeuge und durch das Ersetzen dieser Fahrzeuge durch Lastwagen mit Anhängern oder Gelenkfahrzeugen. Der letzte Fahrzeugtyp ist durchschnittlich am Schwersten. Mit einer solchen Veränderung der Zusammensetzung kann das mittlere, totale Gewicht um 7.5% erhöht werden.

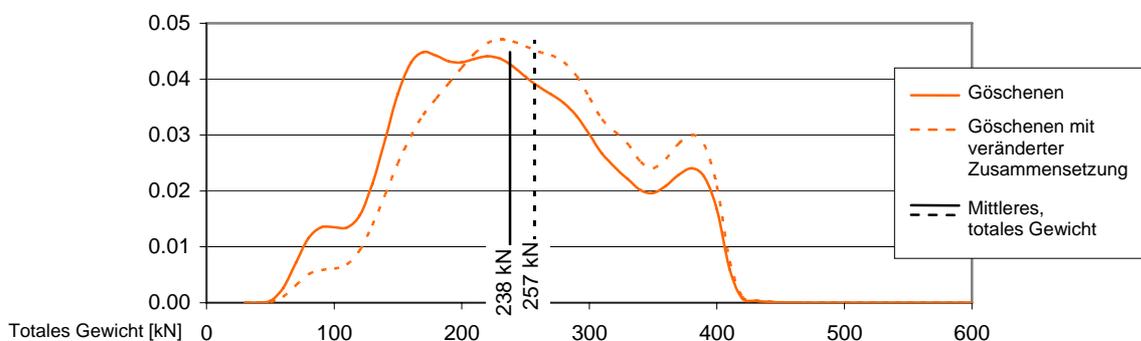


Bild 4.16 – Verteilung des totalen Gewichts der Fahrzeuge mit veränderter Verkehrszusammensetzung

Das Bild 4.17 zeigt das Verhältnis zwischen den simulierten und den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräfte für eine Kastenbrücke mit Gegenverkehr und für den modifizierten Verkehrsstrom aus Göschenen.

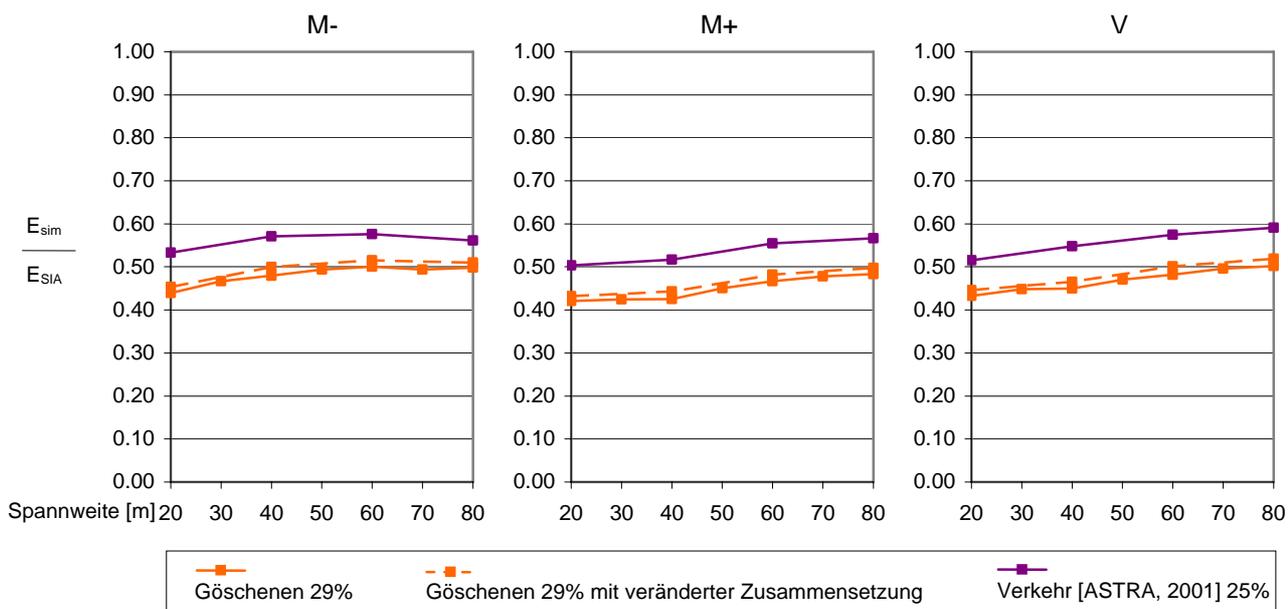


Bild 4.17 – Vergleich der Schnittkräfte : Kastenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr, variable Zusammensetzung

Man erkennt, dass aufgrund der Veränderung des mittleren Gewichts, das Verhältnis E_{sim}/E_{SIA} um 3 bis 4% zugenommen hat, egal welche Kraft oder welche Spannweite dabei betrachtet wird.

4.8.3 44 Tonnen Fahrzeuge

Ein Teil der Fahrzeuge vom Typ 22 mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 32 Tonnen werden durch Fahrzeuge vom Typ 23 ersetzt, welche, wenn es sich um einen unbegleiteten, kombinierten Transport oder um einen Transport mit Sonderbewilligung handelt, bis zu 44 Tonnen schwer sein können. Die Geometrie des Fahrzeuges wird entsprechend dem deterministischen Fahrzeug aus Bild 2.16 der Ziffer 2.3.5 definiert. Im Allgemeinen wird angenommen, dass die Verteilung des Gewichts bei diesem Fahrzeug ähnlich ist wie bei den Fahrzeugen vom Typ 22, ausser dass die Maxima, welche für die beladenen und die unbeladenen Fahrzeuge stehen, um 12 t (= 44 t – 32 t) respektive 6 t verschoben werden (Bild 4.18).

Die Untersuchung wurde anhand der Daten der Wägestation von Denges durchgeführt. Diese weisen einen prozentual und nominal höheren Anteil an Überschreitungen der zulässigen Limite von 40 Tonnen auf als die der anderen Messstationen. Dieser Verkehr beinhaltet 7% Schwerverkehr, wovon 6.4% Fahrzeuge vom Typ 22 sind. Zwei Drittel dieser Fahrzeuge wurden durch Fahrzeuge des Typs 23 mit einem Gewicht von 44 Tonnen ersetzt, wovon 35% überladen sind (> 44 t).

Das Bild 4.19 zeigt das Verhältnis zwischen den simulierten und den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräfte für eine Kastenbrücke mit Gegenverkehr.

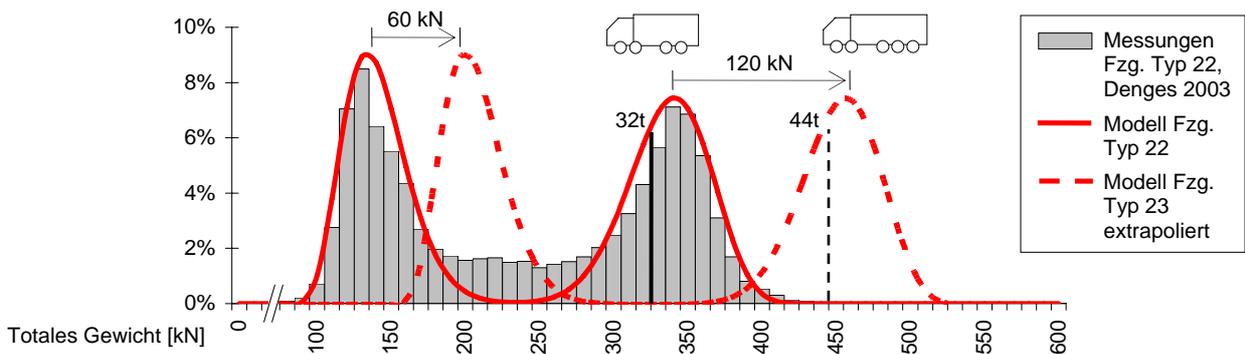


Bild 4.18 – Extrapolierte Verteilung des Gewichts von Fahrzeugen des Typs 23

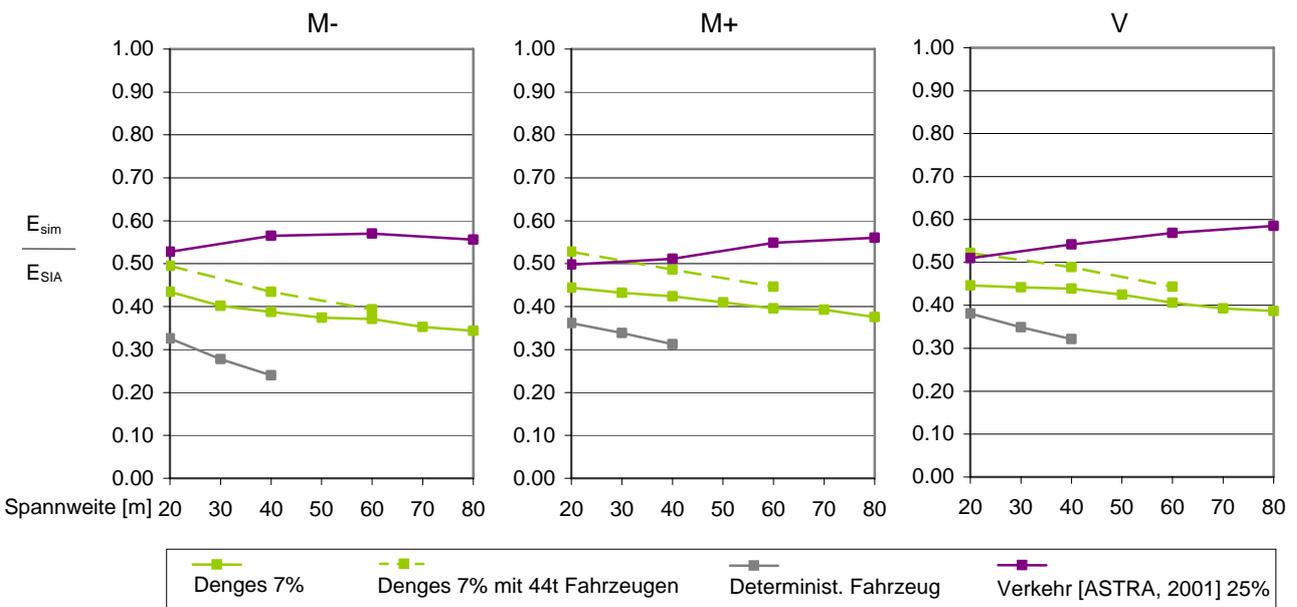


Bild 4.19 – Vergleich der Schnittkräfte : Kastenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr, 44 t Fahrzeuge

Das Bild 4.20 zeigt das Verhältnis für eine Kastenbrücke ohne Gegenverkehr.

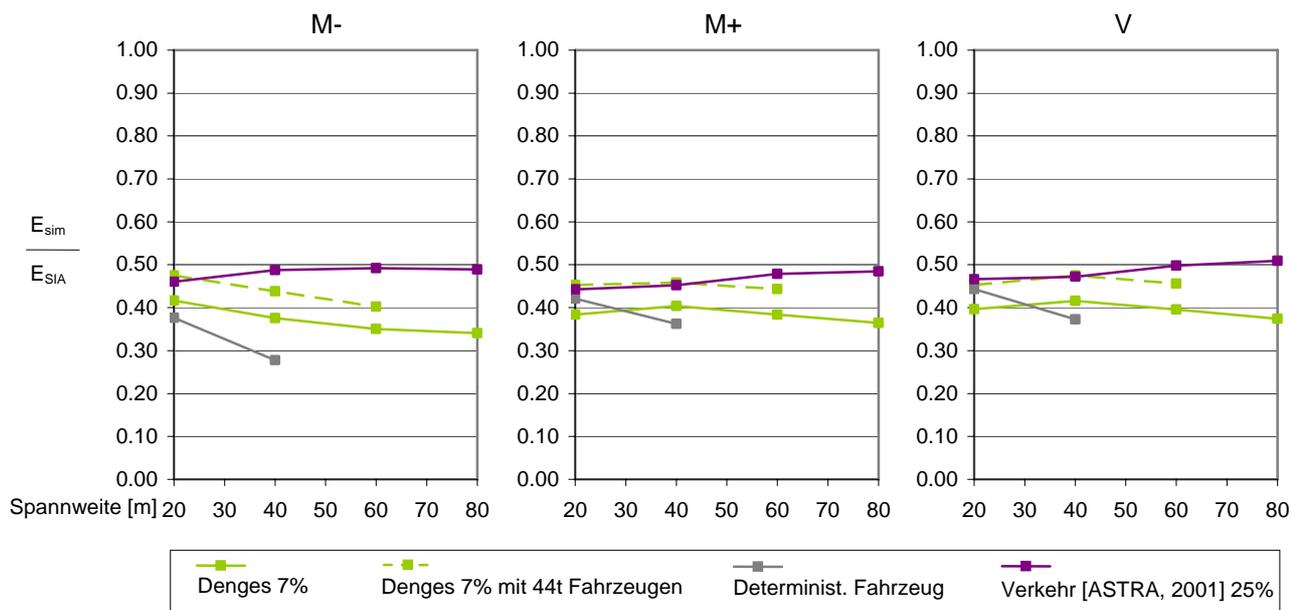


Bild 4.20 – Vergleich der Schnittkräfte : zweistegige Brücken, zweispurige Autobahn, 44 t Fahrzeuge

Bereits durch die Berücksichtigung eines Tausendstels der Fahrzeuge vom Typ 23, welche mehr als 44 Tonnen wiegen, am Gesamtverkehr ($7\% \times 6.4\% \times \frac{2}{3} \times 35\% = 1\%$), können bedeutende Veränderungen festgestellt werden. Die Resultate der Simulationen nehmen je nach Brückentyp und Art der Schnittkraft relativ stark zu. Für Spannweiten bis 20 m beträgt die Erhöhung 12 bis 16% und für Spannweiten bis 60 m liegt sie zwischen 6 und 13%. Die Auswirkung der Fahrzeuge von 44 Tonnen ist folglich bei kleinen Spannweiten grösser. Die Resultate sind zum Teil den Werten des Verkehrsstroms von [ASTRA, 2001] sehr nahe oder liegen sogar tiefer als diese. Dies liegt daran, dass der Verkehr von [ASTRA, 2001] einen grossen Anteil überladener Fahrzeuge beinhaltet. Deshalb bilden die Resultate aus diesem Verkehr, bei der Berücksichtigung einer grossen Anzahl von 44 Tonnen schweren Fahrzeugen, einen oberen Grenzwert.

5 ERSTELLEN DES LASTMODELLS

Im vorherigen Kapitel wurden die Vergleiche zwischen den Schnittkräften, welche aus den Lastmodellen der Norm SIA 261 oder aus den Simulationen mit Verkehrsmodellen erhalten wurden, dokumentiert. Diese Vergleiche zeigen, dass die Anwendung der Norm SIA 261 immer grössere Schnittkräfte ergibt, als die aufgrund der Daten aus den Wägestationen ermittelten. Deshalb können für die Überprüfung bestehender Strassenbrücken α -Beiwerte die kleiner sind als 0.9 vorgeschlagen werden. Für die Berechnungen dieser Beiwerte müssen ausserdem noch Margen berücksichtigt werden um der Verkehrsentwicklung gerecht zu werden. Die Annahmen bezüglich dieser Margen sind im ersten Abschnitt dieses Kapitels beschrieben.

5.1 MARGEN

Die Marge M ist folgendermassen definiert :

$$M = \frac{E_{akt}}{E_{sim,max}} - 1$$

E_{akt} : Mit dem aktualisierten Modell berechnete Schnittkraft

$E_{sim,max}$: Maximale Kraft aus den Simulationen, welche sowohl mit den verschiedenen Verkehrsströmen aus den Wägestationen als auch mit dem deterministischen Fahrzeug durchgeführt wurden.

In Ziffer 4.8.1 wurde beobachtet, dass eine Verdoppelung des prozentualen Anteils an Schwerverkehr die simulierten Schnittkräfte um 5 bis 12% erhöht. Aufgrund der Überlegung, dass eine Verdoppelung der Dichte des Schwerverkehrs für die nächsten 15 bis 20 Jahre etwas zu pessimistisch ist, nimmt man an, dass eine Marge von 5% ausreicht, um die Verkehrszunahme zu berücksichtigen.

In Ziffer 4.8.2 wurde beobachtet, dass eine Zunahme des mittleren Gewichts um 7.5%, eine Vergrösserung der simulierten Schnittkräfte um 3 bis 4% bewirkt. Mit dem Wissen, dass die Zunahme des Gewichts zwischen 1 und 2% pro Jahr liegt (Ziffer 2.3.1) und unter dem Einbeziehen einer Abschwächung dieser Tendenz, wird eine Erhöhung von 20% in 15 bis 20 Jahren angenommen. Um diese Gewichtszunahme zu berücksichtigen, muss eine Marge von ungefähr 10% auf die simulierten Schnittkräfte angesetzt werden.

Aufgrund dieser Überlegungen wird eine totale Marge von 15% gewählt. Diese Marge ist eine grobe Abschätzung, denn die verschiedenen Parameter sind in Wirklichkeit nicht unabhängig.

Man muss beachten, dass der Verkehr aus [ASTRA, 2001], im Vergleich zu den neuen Beobachtungen, einen hohen Prozentsatz an Fahrzeugen beinhaltet, welche die zulässige Gewichtslimite von 40 Tonnen überschreiten. Die Resultate infolge dieses Verkehrs bilden einen oberen Grenzwert, welcher auch mit der Ankunft der 44 Tonnen Fahrzeuge in den nächsten 15 bis 20 Jahren bestimmt nicht überschritten wird.

Die Tragsicherheit eines Bauwerks hängt nicht nur von der Marge auf den Verkehrslasten ab, sondern auch von seinem Eigengewicht. Dieses wird wichtiger, wenn die Spannweiten grösser werden. Deshalb ist es sogar möglich für grössere Spannweiten kleinere Margen anzusetzen. Es wird vorgeschlagen nicht eine konstante Marge von 15% anzusetzen, sondern eine variable. Es scheint sinnvoll, eine Marge von ca. 20% für die Bauwerke mit Spannweiten zwischen 10 und 40 m und eine Marge von 10% für Bauwerke mit grösserer Spannweite anzunehmen.

5.2 MODELLFAKTOR

Die alte Norm SIA 160 beinhaltet einen Modellfaktor γ_s , der von der Normenkommission auf 1.1 festgelegt wurde. Damit berücksichtigte man, dass in der Lastkombination $E_d = E(Q_d, G_d, Q_a)$ nur eine Begleiteinwirkung Q_a gleichzeitig mit der Leiteinwirkung Q_d angreifen konnte. Es wird vorgeschlagen, diesen Faktor zur Erstellung des aktualisierten Modells weiterhin zu berücksichtigen, auch wenn sich dieses auf die neue Norm SIA 261 stützt.

5.3 WAHL DES AKTUALISIERTEN MODELLS

Die verschiedenen in Kapitel 4 erhaltenen und präsentierten Resultate sind relativ konstant, egal um welchen Strukturtyp, welche Spannweite, welche Art der Schnittkraft oder sogar um welchen Strassentyp es sich handelt. Dies zeigt, dass es möglich sein muss, ein einfaches, aktualisiertes Lastmodell vorzuschlagen, welches nur von wenigen Parametern abhängt.

Aufgrund dieser Überlegung wurde beschlossen, α -Beiwerte anzuwenden, welche weder von der Spannweite, noch von der Art der Schnittkraft oder vom Strassentyp abhängig sind. Nur der Brückentyp wird variiert.

Das einfachste wäre gewesen für jeden Brückentyp einen einzelnen α -Beiwert zu bestimmen, den man global, auf das gesamte, in der Norm SIA 261 definierte Lastmodell hätte anwenden können. Doch auch in diesem Modell greifen konzentrierte Lasten an, welche gewisse lokale Phänomene abzudecken haben, wie zum Beispiel das Durchstanzen von Platten. Damit das aktualisierte Modell diese Differenzierung machen kann, wurde beschlossen zumindest die Beiwerte α_Q und α_q zu unterscheiden.

Die Krafteinwirkung der Gruppe mit den schwersten Achslasten (auf dem fiktiven Fahrstreifen ①) muss mit den schwersten gemessenen Achslasten übereinstimmen. Währenddessen die Last der zweiten Gruppe der Achslasten (auf dem fiktiven Fahrstreifen ②) freier festgelegt werden kann. Es wird also vorgeschlagen auch die Beiwerte α_{Q1} und α_{Q2} zu unterscheiden. Diese zwei Beiwerte sind unabhängig vom Brückentyp.

Zusammengefasst heisst das also, dass das aktualisierte Modell sowohl die Beiwerte α_{Q1} und α_{Q2} beinhaltet, welche vom Brückentyp unabhängig sind, als auch einen Beiwert α_q der je nach Brückentyp variiert und auf alle verteilten Lasten anzusetzen ist ($\alpha_q = \alpha_{q1} = \alpha_{q2} = \alpha_{q3} = \alpha_{qr}$).

5.4 α -BEIWERTE

Um den Faktor α_{Q1} festzulegen, werden die statistischen Auswertungen der Achslasten untersucht. Die Analyse der Einzel-, Doppel- und Dreifachachsen aus den verschiedenen Wägestationen haben gezeigt, dass die Achslast einer einzelnen Achse am Grössten ist. Die Statistiken der einzelnen Achsen haben ein 99.99% Fraktile von ungefähr 160 kN, wie in Bild 5.1 dargestellt. Das heisst, dass das maximale Gewicht mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1/10'000 in der Grössenordnung von 160 kN ist. Im Anhang A.5 sind die kompletten Statistiken der Achsen aufgeführt.

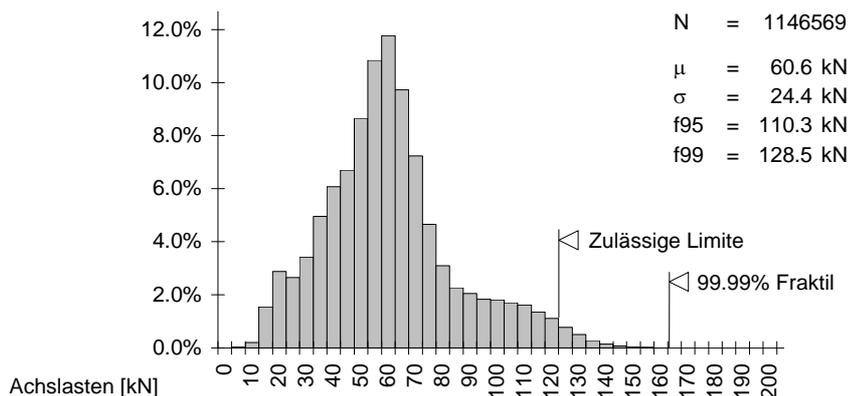


Bild 5.1 – Statistik des Gewichts von einzelnen Achsen der klassierten Fahrzeuge, Trübbach 2003

Dieser Wert von 160 kN kann mit dem charakteristischen Wert $Q_{kl} = 300$ kN pro Achse aus der Norm SIA 261 verglichen werden. Dieser Vergleich muss einerseits den Lastfaktor $\gamma_Q = 1.5$ gemäss der Norm und andererseits einen dynamischen Beiwert Φ von 1.8 berücksichtigen. Dies ergibt folgende Ungleichung :

$$\Phi \cdot Q_{99.99\%} \leq \frac{\gamma_Q}{\gamma_s} \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{kl} \quad \rightarrow \quad \alpha_{Q1} \geq \frac{\gamma_s}{\gamma_Q} \cdot \frac{\Phi \cdot Q_{99.99\%}}{Q_{kl}} = \frac{1.1}{1.5} \cdot \frac{1.8 \cdot 160}{300} = 0.70$$

mit Φ : dynamischer Beiwert für konzentrierte Lasten
 $Q_{99.99\%}$: 99.99% Fraktile aus der Statistik der einzelnen Achslasten

Wie die Lösung dieser Ungleichung zeigt, muss α_{Q1} mit diesen Annahmen grösser gleich 0.70 sein. Deshalb wird ein Wert von $\alpha_{Q1} = 0.70$ vorgeschlagen.

Die anderen α -Beiwerte müssen so festgelegt werden, damit sie folgende Ungleichung erfüllen :

$$E_{sim} \cdot (1 + M) \leq \frac{\gamma_Q}{\gamma_s} \cdot [\alpha_{Q1} \cdot F_{Q1} + \alpha_{Q2} \cdot F_{Q2} + \alpha_q \cdot (F_{q1} + F_{q2} + F_{q3} + F_{qr})]$$

Die Grössenordnung der erforderlichen Menge M wurde bereits im Abschnitt 5.1 festgelegt, deshalb enthält diese Ungleichung nur noch zwei Unbekannte, α_{Q2} und α_q . Man stellt fest, dass mit einem Beiwert α_{Q2} von 0.50 das Verhältnis zwischen den konzentrierten Lasten (von der Spannweite unabhängig) und den verteilten Lasten (von der Spannweite abhängig) gerade so gross ist, damit die gewünschte Variation der Menge bei den kleinen und grossen Spannweiten erreicht werden kann. Deshalb wird ein Beiwert $\alpha_{Q2} = 0.50$ vorgeschlagen.

Der Beiwert α_q ist in Abhängigkeit des Brückentyps und aufgrund des Vergleichs zwischen E_{sim} und E_{SIA} definiert. Die roten Kurven in den Bildern 5.2 bis 5.5 zeigen für jeden Brückentyp Beispiele von Margen, welche aufgrund der simulierten und aufgrund der mit den vorgeschlagenen α -Beiwerten berechneten Schnittkräfte ermittelt wurden. Die grünen, gestrichelten Kurven in Bild 5.2 stellen die Margen aus dem extrapolierten Verkehr dar, inklusive Fahrzeuge des Typs 23 mit einem Gewicht von 44 Tonnen (Ziffer 4.8.3).

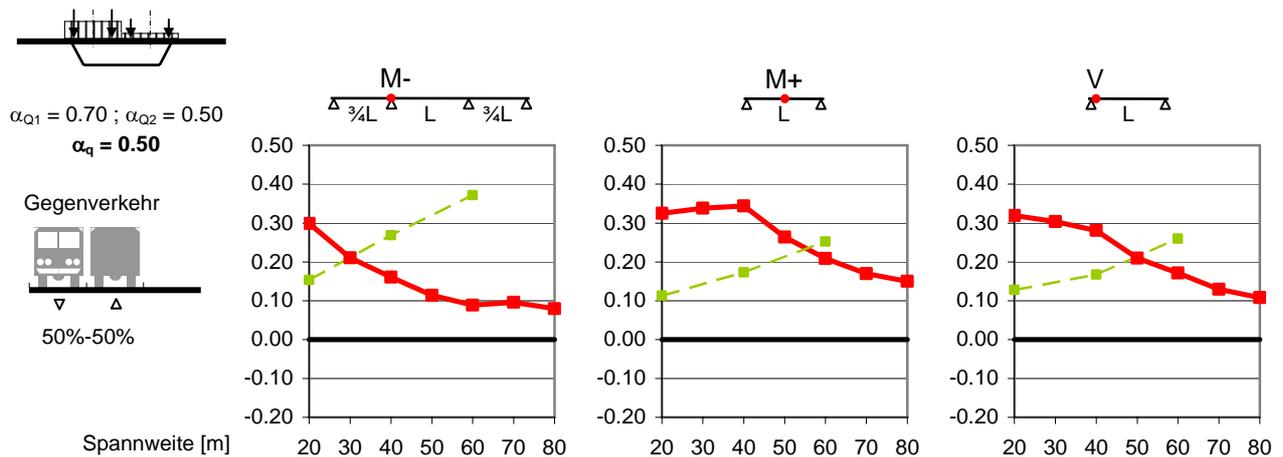


Bild 5.2 – Margen : Kastenbrücke, Strasse mit Gegenverkehr

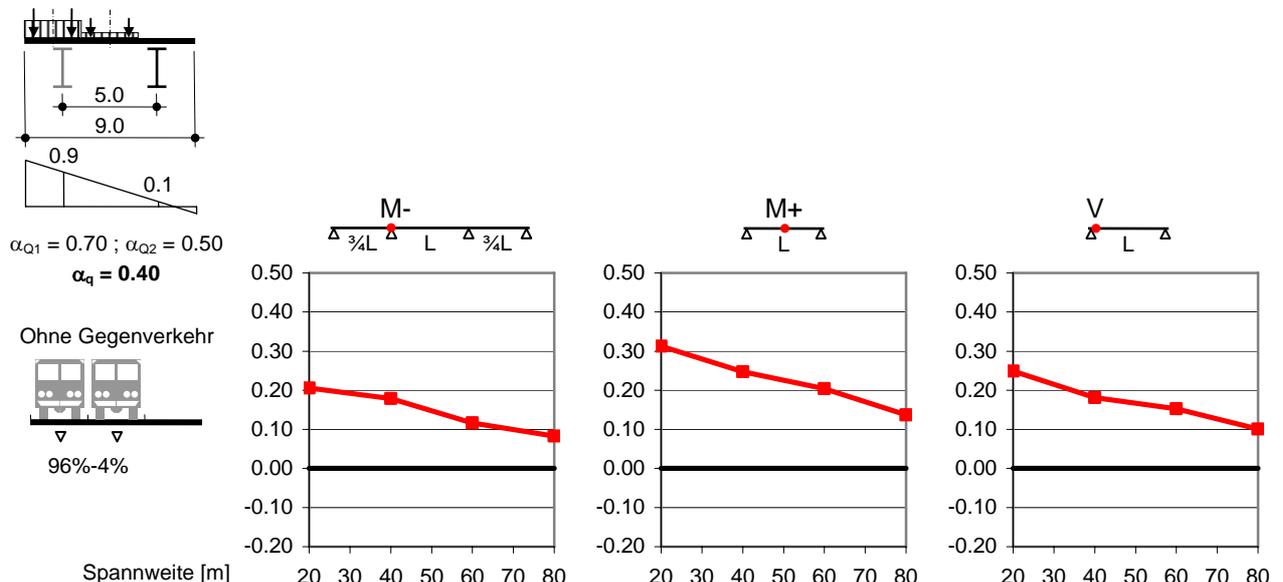


Bild 5.3 – Margen : zweistufige Brücke, Autobahn mit einer Aufteilung auf die Fahrstreifen von 4%-96%

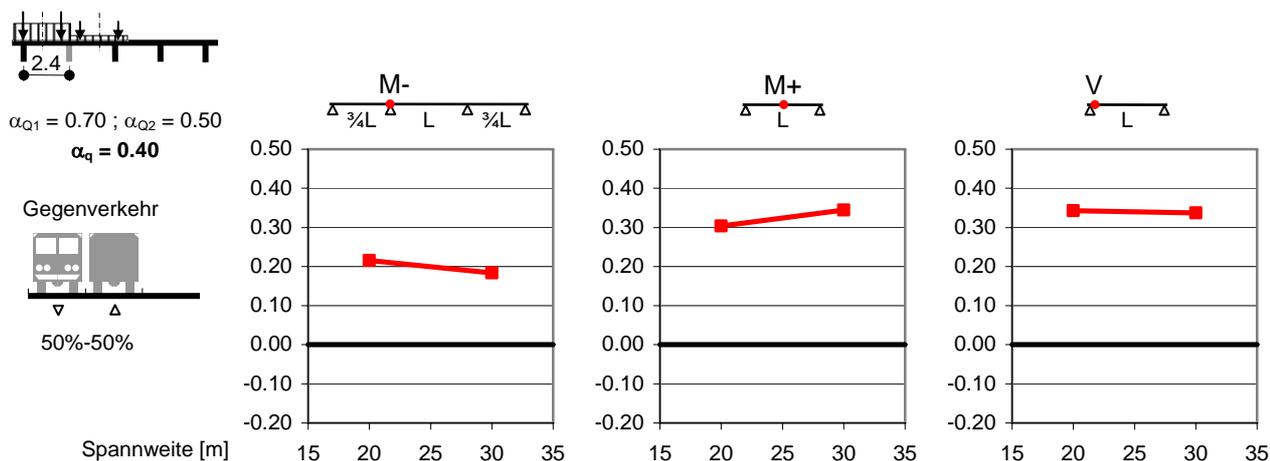


Bild 5.4 – Margen : mehrstegige Brücke, Träger 2, Strasse mit Gegenverkehr

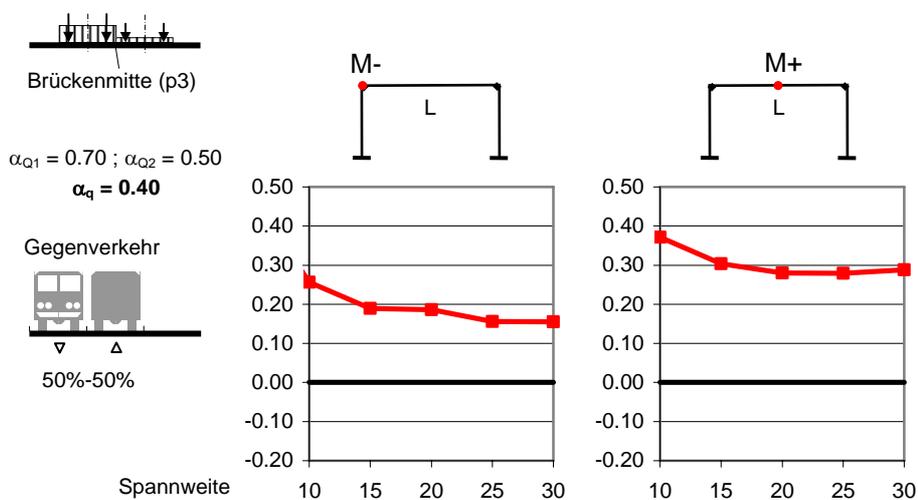


Bild 5.5 – Margen : Plattenbrücke, Strasse mit Gegenverkehr, Brückenmitte (p3)

Man stellt fest, dass mit den vorgeschlagenen α -Beiwerten die erwünschten Margen sehr gut eingehalten werden können. Die vollständigen Resultate aller studierten Fälle befinden sich im Anhang A.6

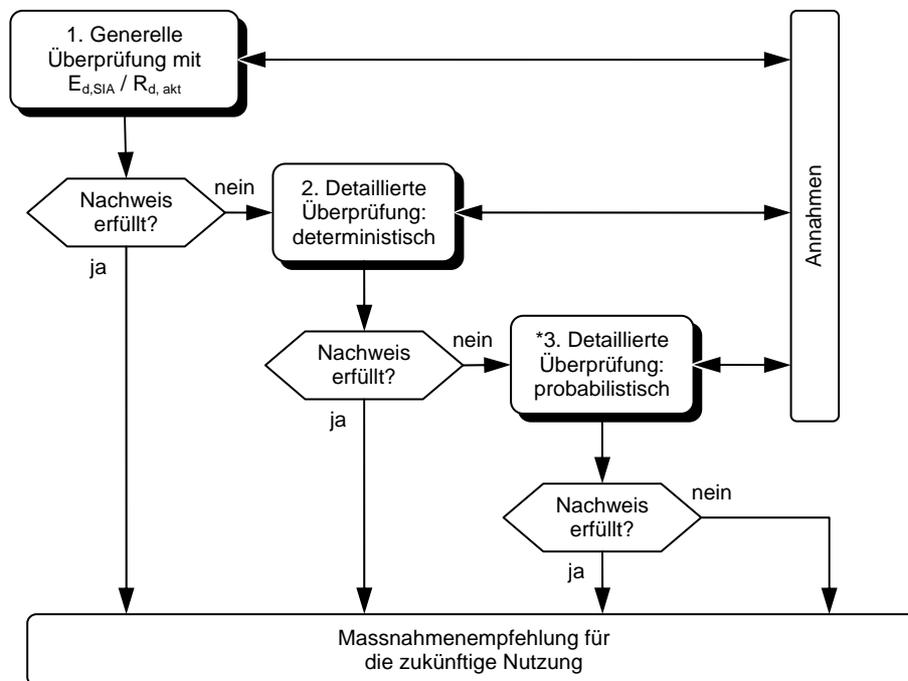
6 ÜBERPRÜFUNG BESTEHENDER STRASSENBRÜCKEN

6.1 VORGEHEN

Bei der Überprüfung bestehender Strassenbrücken sollte unterschieden werden, ob es sich um eine vergleichende Überprüfung einer bestimmten Gruppe von Brücken (z.B. ähnliche Tragwerke, Brücken in einem Kanton, Brücken eines gewissen Strassenabschnitts, Brücken einer gleichen Normengeneration, usw.) oder um die Überprüfung einer bestimmten Brücke handelt.

Im ersten Fall geht es darum festzustellen, welche Brücken einer vertieften Untersuchung zu unterziehen sind, und mit welcher Priorität. Zu dieser Überprüfung dienen im Allgemeinen die aktuell gültigen Tragwerksnormen des SIA wobei die Widerstandsseite aktualisiert werden sollte. In einer zweiten Stufe dürfen auf der Einwirkungsseite die aktualisierten Strassenlasten angesetzt werden.

Wenn eine bestimmte Brücke vertieft untersucht werden muss, sollte die Überprüfung in verschiedenen Stufen und vor allem objektbezogen durchgeführt werden. Diese Stufen sind in Bild 6.1 schematisch dargestellt.



* Diese Überprüfung soll nur durchgeführt werden, wenn der Nutzen den notwendigen Aufwand rechtfertigt

Bild 6.1 – Stufenweises Vorgehen bei der Überprüfung bestehender Brücken

1. Stufe: Generelle Überprüfung

Im ersten Schritt der Überprüfung wird die Einwirkungsseite aufgrund der aktuell gültigen Tragwerksnormen des SIA bestimmt. Zur Ermittlung der Widerstandsseite können folgende Werte verwendet werden:

- Aktualisierte Werte der Baustoffeigenschaften: auf der Basis von sorgfältig durchgeführten visuellen und eventuell zerstörungsfreien Prüfungen.

Achtung: aktualisierte Werte der Baustoffeigenschaften können kleiner sein als die Normwerte.

Bei der Überprüfung ist es vorteilhaft, wenn das rechnerische Resultat aller Nachweise als Quotient von Auswirkung E_d und Widerstand R_d , oder umgekehrt, dargestellt wird.

Der Quotient kann tabellarisch für alle untersuchten Stellen (Tragelement, Querschnitt oder Konstruktionsdetail) festgehalten werden. Diese tabellarische Aufstellung ergibt gleichzeitig eine Auflistung derjenigen Stellen, die gegebenenfalls im zweiten Schritt prioritär weiter zu untersuchen sind.

2. Stufe: Detaillierte Überprüfung: deterministisch

Im zweiten Schritt der Überprüfung werden die Einwirkungen unter Anwendung aktualisierter Werte ermittelt. Die Widerstandsseite muss anhand von genaueren Untersuchungen am Bauwerk nochmals aktualisiert werden. Diese, von den Normen abweichenden Werte, sind in jedem Fall zu begründen.

Grundsätzlich können folgende Werte benutzt wurden:

- Aktualisierte Lastmodelle: in den nachfolgenden Abschnitten 6.2 bis 6.4 für Strassenlasten definiert.
- Aktualisierte Eigenlasten und ständige Einwirkungen: aktualisierte Lastfaktoren sowie die Anforderungen an deren Festlegung sind in [ASTRA, 1998] aufgeführt.
- Aktualisierte Werte der Baustoffeigenschaften: anhand von Angaben in den Bauwerksakten, zerstörungsfreien Prüfungen und eventuell Prüfungen mit am Tragwerk entnommenen Proben bestimmt.
- Widerstandsmodelle: wirklichkeitsnaher Querschnittswiderstand.
- Tragwerksmodell: wirklichkeitsnahes Modell des Tragverhaltens.
- Versuchsgestützte Ermittlung des Tragverhaltens: kann bei ungenügenden Kenntnissen und Informationen über das Tragwerk (z.B. bei fehlenden Bauwerksakten) und dessen Tragverhalten (z.B. bei technischen Besonderheiten), zur Kalibrierung von Tragwerksmodellen für die Tragwerksanalyse angewendet werden. Die Belastungsversuche können sowohl von statischer als auch dynamischer Art sein und müssen anhand von Tragwerksmodellen interpretiert werden. Die wirklichkeitsnahen Auswirkungen können anhand von Messungen abgeschätzt und mit der Berechnung verglichen werden.

Achtung: weil damit möglicherweise eine wesentliche Einsparung von Verstärkungen erzielt werden kann, sind derartige Messungen und deren Auswertung mit grosser Sorgfalt durch entsprechend ausgebildete Fachleute vorzunehmen.

3. Stufe: Detaillierte Überprüfung: probabilistisch

Eine derartige Überprüfung kann nur durchgeführt werden wenn ausreichende Datenmengen für die statistische Auswertung zur Verfügung stehen. Dazu sind normalerweise entsprechende Messungen am Tragwerk (Strassenlasten) oder Materialprüfungen notwendig.

Definition der eingeführten Begriffe

Die nachfolgenden Begriffe sind dem Entwurf der Norm SIA 269 (05/2006) sinngemäss entnommen.

- Aktualisierung:
Dabei handelt es sich um eine Verfeinerung und Ergänzung der vorhandenen Informationen durch das Sammeln neuer Informationen.
- Generelle Überprüfung
Die generelle Überprüfung umfasst das gesamte Tragwerk und beinhaltet in der Regel folgende Aktivitäten:
 - Studium der Bauwerksakten
 - Erstellen oder Aktualisieren der Nutzungsvereinbarung und der Projektbasis
 - Beurteilung des Tragwerkkonzepts
 - Zustandserfassung anhand von visuellen Kontrollen und einfachen, in der Regel zerstörungsfreien Untersuchungen am Tragwerk

- Überschlägige Nachweise der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit
 - Erkennen von Mängeln und Schäden
 - Erkennen derjenigen Bereiche des Tragwerks, die bei der Gegenüberstellung mit den Nutzungsanforderungen massgebend sind.
- **Detaillierte Überprüfung**

Eine detaillierte Überprüfung ist durchzuführen, falls bei der generellen Überprüfung der Nachweis gegenüber den Nutzungsanforderungen nicht erbracht werden kann.

 - Die detaillierte Überprüfung beschränkt sich in der Regel auf ausgewählte Teile eines Tragwerks und kann in mehreren Schritten mit zunehmender Vertiefung erfolgen.
 - Bei der detaillierten Überprüfung werden die Ursachen von allfälligen Schäden und Schadensmechanismen vertieft ergründet sowie allfällige Mängel eingehend untersucht.
 - Eine detaillierte Überprüfung beinhaltet eine verfeinerte Tragwerksanalyse und eine vertiefte Ermittlung der Ein- und Auswirkungen, des Tragwiderstands und des Verformungsverhaltens anhand von verfeinerten Modellen oder speziellen Untersuchungsmethoden wie messtechnische Untersuchungen oder Laborprüfungen.
 - **Massnahmenempfehlung**

Die Massnahmenempfehlung bildet die Grundlage für den Grundsatzentscheid des Eigentümers über das weitere Vorgehen. Die Massnahmenempfehlung beinhaltet beispielsweise eine der folgenden Optionen:

- Durchführung einer (zusätzlichen) detaillierten Überprüfung
- Bestätigung der betrieblichen Erhaltungsmassnahmen und der Nutzungsanweisungen
- Änderung der betrieblichen Erhaltungsmassnahmen bei unveränderten Nutzungsanweisungen
- Korrektur des bestehenden Zustands mittels sichernden Sofortmassnahmen
- Akzeptieren des bestehenden Zustands verbunden mit ergänzenden Sicherheitsmassnahmen
- Massnahmenplanung

Die Empfehlung ist zu begründen. Bei einer Änderung der betrieblichen Erhaltungsmassnahmen sind der Überwachungsplan und der Instandhaltungsplan entsprechend anzupassen und umzusetzen. Empfohlene Massnahmen, welche ergänzende Sicherheitsmassnahmen, eine Instandsetzung, eine Veränderung oder den Ersatz des Tragwerks beinhalten, sind aufgrund einer Massnahmenplanung umzusetzen.

6.2 LASTMODELL

Als Grundlage werden das in der Norm SIA 261 im Abschnitt 10.2 definierte Lastmodell und die dazugehörenden charakteristischen Werte (siehe Bild 6.2) verwendet.

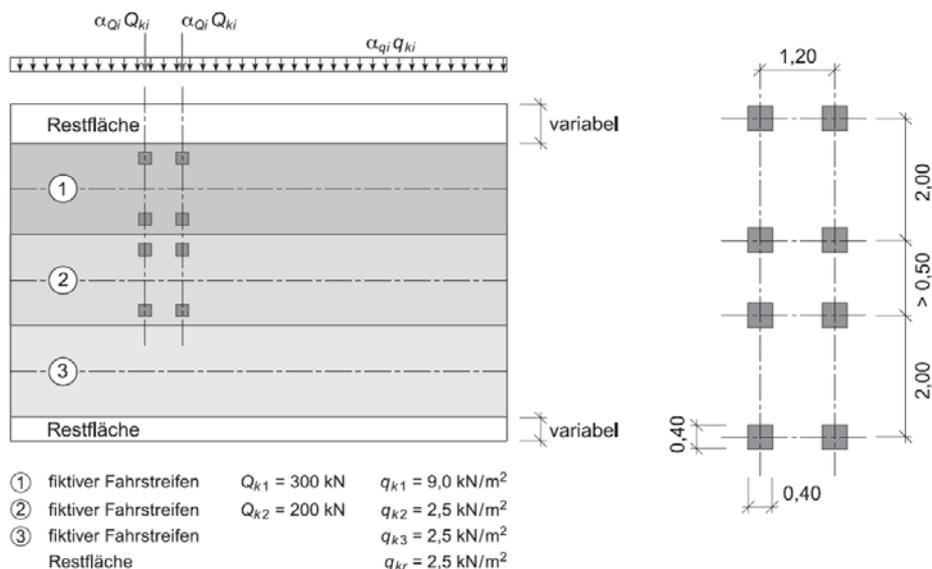


Bild 6.2 – Mögliche Lastanordnung des Lastmodells 1 (Abmessungen in m) [SIA 261, 2003]

Das aktualisierte Lastmodell besteht darin, dass die Beiwerte des Abschnitts 10.3 der Norm SIA 261 durch die im Abschnitt 6.4 aufgeführten aktualisierten α -Beiwerte ersetzt werden. Diese α -Beiwerte gelten allgemein für den Nachweis der Biege- und Schubbeanspruchung sowie für Durchstanzen der Fahrbahnplatte. Die im Abschnitt 6.3 aufgeführten Anwendungsbereiche sind zwingend zu beachten.

6.3 ANWENDUNGSBEREICH

Die im Abschnitt 6.4 angegebenen aktualisierten α -Beiwerte sind anwendbar für

- die im Abschnitt 2.1 definierten Brückentypen und Spannweiten,
- die Berechnung der Biegemomente und Querkräfte in Brückenlängsrichtung (globale Auswirkungen),
- die Berechnung der Biegemomente, der Querkräfte und das Durchstanzen in der Fahrbahnplatte (lokale Auswirkungen),
- Brücken mit Gegenverkehr und einer Fahrbahnbreite von 6 bis 9 m,
- Autobahnbrücken mit 2 Fahrstreifen pro Richtung und Brücke,
- Autobahn mit Baustelle, Verkehrsführung mit bis zu 4 Fahrstreifen, wenn maximal zwei Fahrstreifen für Lastwagen zugelassen sind.

Ausserhalb dieses Anwendungsbereichs sind grundsätzlich die in der Norm SIA 261 (2003) aufgeführten α -Beiwerte zu verwenden.

Für Brücken, auf denen Ausnahmetransporte vorzusehen sind, muss eine zusätzliche Überprüfung mit dem Lastmodell 3 in der Norm SIA 261 durchgeführt werden.

Besondere Untersuchungen sind notwendig

- in Bereichen wo sich häufig Stau mit beladenen Lastwagen auf mehr als einem Fahrstreifen bilden, wie zum Beispiel in der Nähe von Zollübergängen, und
- in Bereichen von Stauräumen, wo Lastwagen auf der Standspur stationiert werden, wie zum Beispiel auf der A2 vor dem Gotthardtunnel.

Das aktualisierte Lastmodell kann nicht für den Nachweis der Ermüdungssicherheit verwendet werden.

Am ICOM können mit objektspezifischen Einflusslinien auch objektspezifische Einwirkungsmodelle berechnet werden. Zudem kann der lokale Verkehr bei der Bestimmung der aktualisierten α -Beiwerte berücksichtigt werden.

6.4 AKTUALISIERTE α -BEIWERTE

In Tabelle 6.1 sind die mit den im Abschnitt 6.5 zusammengefassten Annahmen berechneten aktualisierten α -Beiwerte aufgeführt. Sie basieren auf Verkehrsmessungen im Jahre 2003 und gelten für den allgemein zugelassenen 40 Tonnen Verkehr in der Schweiz. Das gelegentliche Auftreten der neuerdings zugelassenen 44 Tonnen Lastwagen (unbegleiteter kombinierter Verkehr) ist berücksichtigt, ebenso wie vereinzelte Überfahrten von 60 Tonnen Pneuکرanen.

Tabelle 6.1 – Aktualisierte α -Beiwerte für die Überprüfung bestehender Strassenbrücken

Brücken	Querschnitt	Spannweiten	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{qi}, α_{qr}
Balken	Kasten	20-80 m	0.70	0.50	0.50
	Zweistegig	20-80 m			0.40
	Mehrstegig	15-35 m			0.40
Platten		8-30 m			0.40

Soll die Überprüfung auch für 96 Tonnen Pneuکرane durchgeführt werden, können die im Anhang A.10 aufgeführten aktualisierten α -Beiwerte verwendet werden.

6.5 ZUSAMMENFASSUNG DER ANNAHMEN

Die Tabelle 6.2 fasst sämtliche Annahmen der Untersuchung zusammen. Das aktualisierte Lastmodell sollte grundsätzlich nur verwendet werden, wenn diese Annahmen auf die zu untersuchende Brücke zutreffen.

Tabelle 6.2 – Zusammenfassung der Annahmen, die den aktualisierten α -Beiwerten zugrunde liegen

Zeitspanne der Untersuchung	
Zeitlicher Geltungsbereich (Kapitel 1)	<ul style="list-style-type: none"> - das vorgeschlagene Modell wurde unter Berücksichtigung der Verkehrsentwicklung in den kommenden 15 bis 20 Jahren erstellt - eine regelmässige Erhebung der Verkehrsentwicklung ist unerlässlich zur Überprüfung der getroffenen Annahmen
Fahrbahn und Tragstruktur	
Anordnung der Fahrbahn (Ziffer 2.1.1)	<ul style="list-style-type: none"> - Strasse mit Gegenverkehr auf zwei Fahrstreifen, Fahrbahn zwischen 6 und 9 m - zweispurige Autobahn, Fahrbahn zwischen 9 und 12 m. - Autobahn mit Baustelle, Verkehrsführung auf 4 Fahrstreifen, davon nur 2 für Schwerverkehr zugänglich, Fahrbahn 12 m
Brückenquerschnitt (Ziffer 2.1.2)	<ul style="list-style-type: none"> - Kastenbrücke - Brücke mit zwei Hauptträgern, Lastverteilung in Querrichtung von 0.9 - 0.1 oder 0.7 - 0.3, Trägerabstand zwischen 4 und 6 m - Mehrstegige Brücke, Abstand e zwischen 2.4 und 3.0 m, Trägerhöhe L/20, Plattenstärke e/10 und eine Trägerbreite e/6 - Plattenbrücke mit einer Plattenstärke von L/33
Statisches System in Längsrichtung (Ziffer 2.1.3)	<ul style="list-style-type: none"> - Balkenbrücken: einfacher Balken und dreifeldriger Durchlaufträger, wobei die Spannweite der Endfelder $\frac{3}{4}$ der Spannweite des Mittelfeldes beträgt - Plattenbrücken: Rahmentragwerk mit verschiedenen Auflagerbedingungen der Platte, variierend zwischen einfach aufgelegt bis vollkommen eingespannt

Schnittgrössen (Ziffer 2.1.4)	<ul style="list-style-type: none"> - Balkenbrücken: M- im Auflagerbereich (Durchlaufträger), M+ in Feldmitte, V in den Auflagerbereichen des Mittelfeldes - Plattenbrücken: M- im Rahmenknoten und M+ in Feldmitte, 3 Berechnungstreifen mit einer Breite von je einem Meter
Modellierung des Verkehrs	
Fahrzeugtyp (Ziffer 2.2.2)	- 12 Schwerverkehrsklassen (einfache Fahrzeuge, Anhänger- und Sattelzüge) und eine Leichtverkehrsklasse
Zusammensetzung des Verkehrs (Ziffer 2.2.3)	<ul style="list-style-type: none"> - Zusammensetzung basierend auf den Verkehrsmessungen von 2003 - mittlerer Prozentsatz des Schwerverkehrs um 50% erhöht zur Berücksichtigung der schwerverkehrsfreien Tage (Sonn- und Feiertage) - siehe Anhang A.3
Verkehrsmenge (Ziffer 2.2.4)	<ul style="list-style-type: none"> - Strasse mit Gegenverkehr: 5'000'000 Fzg./Jahr - zweispurige Autobahn: 10'000'000 Fzg./Jahr/Richtung
Modellierung der Fahrzeuge	
Gesamtgewicht (Ziffer 2.3.1)	- Modellierung anhand einer bimodalen Beta-Verteilung, berechnet aufgrund der statistischen Verkehrserhebungen von 2003
Achslasten (Ziffer 2.3.2)	- Modellierung der Abhängigkeit zwischen dem Gesamtgewicht und dem Gewicht der einzelnen Achsen anhand von Regressionsgeraden, berechnet aufgrund der statistischen Verkehrserhebungen
Geometrie (Ziffer 2.3.4)	- Modellierung der Abstände zwischen den verschiedenen Achsen anhand von Beta-Verteilungen, berechnet aufgrund der statistischen Verkehrserhebungen
Deterministisches Modell (Ziffer 2.3.5)	- zwei spezifische Fahrzeugtypen: ein 40 Tonnen schwerer Baustellenlastwagen vom Typ 23 mit $\gamma_Q = 1.5$ und $\phi = 1.3$, sowie ein 60 Tonnen schwerer Pneukran mit $\gamma_Q = 1.1$ und $\phi = 1.3$
Modellierung des zirkulierenden Verkehrs	
Verkehrsbedingungen (Ziffer 2.4.1)	- gesättigter, stehender Verkehr, betrifft nur 2% des Jahresverkehrs
Abstand zwischen den Fahrzeugen (Ziffer 2.4.2)	- Modellierung der Abstände anhand von Beta-Verteilungen mit Minimalwert von 0.1 m und Maximalwert von 15 m. Der Mittelwert variiert zwischen 1.9 und 3.3 m in Abhängigkeit der sich folgenden Fahrzeuge
Verteilung auf den Fahrstreifen (Ziffer 2.4.3)	<ul style="list-style-type: none"> - Strasse mit Gegenverkehr, Aufteilung des Schwerverkehrs auf beiden Streifen: 50%-50% - zweispurige Autobahn, Aufteilung des Schwerverkehrs, linker Fahrstreifen, rechter Fahrstreifen: 15% - 85%, 4% - 96%, 0% - 100% - Autobahn mit Baustelle, Verkehrsführung 4-0, Schwerverkehr jeweils auf dem rechten Fahrstreifen zugänglich: 50% - 0% - 0% - 50%
Verkehrssimulationen	
Dynamischer Beiwert (Abschnitt 3.1)	- die Schnittgrössen werden nach [ASTRA, 2004.1] mit einem dynamischen Beiwert zwischen 1.4 und 1.0 multipliziert, in Abhängigkeit der Gesamtlast auf der Einflusslinie zum betrachteten Zeitpunkt

Anzahl simulierter Fahrzeuge N (Abschnitt 3.2)	<ul style="list-style-type: none"> - Strasse mit Gegenverkehr: 1'000'000 Fzg. (\approx 2% stehender Kolonnenverkehr in 15 Jahren) - zweispurige Autobahn: 2'000'000 Fzg./Richtung (\approx 2% stehender Kolonnenverkehr in 15 Jahren) - Autobahn mit Baustelle, Verkehrsführung 4-0: 2'000'000 Fzg. (\approx 10% stehender Kolonnenverkehr in 1½ Jahren)
Anzahl Simulationen (Abschnitt 3.3)	- 1'000 Simulationen mit N Fahrzeugen für jeden der behandelten Fälle
Bemessungswert (Abschnitt 3.4)	- als Bemessungswert wird der 99%-Fraktilewert der Verteilung der maximal registrierten Schnittkräfte, unter Berücksichtigung des dynamischen Beiwerts verwendet
Simulierte Verkehrstypen (Abschnitt 3.5)	<ul style="list-style-type: none"> - sämtliche Simulationen wurden anhand des gemessenen Verkehrs an den Wägestationen im Jahre 2003 realisiert - der Grossteil der Simulationen basiert auf den Verkehrsmessungen an den Stationen Göschenen, Mattstetten und Denges - zur Berücksichtigung des Verkehrs an den Stationen Ceneri, Oberbüren, Trübbach und Plazzas wurden vergleichende Berechnungen durchgeführt - der im Rahmen des Berichts [ASTRA, 2001] berücksichtigte Verkehr wurde zu Vergleichszwecken ebenfalls simuliert
Deterministische Berechnung (Abschnitt 3.6)	- die resultierenden Schnittkräfte der deterministisch definierten Fahrzeuge wurden einzeln in einer separaten Simulation für jeden der behandelten Brückentypen ermittelt und mit den Resultaten der probabilistischen Simulationen verglichen
Aktualisiertes Verkehrsmodell	
Bemessungswert der Norm (Abschnitte 4.1 und 4.6)	<ul style="list-style-type: none"> - die Bemessungswerte der Norm, welche mit den Bemessungswerten der Simulationen verglichen wurden, wurden aufgrund einer fiktiven Fahrbahn mit einer Breite von 6 m ermittelt - für die Situation der Autobahn mit Baustelle wurde eine Breite der Fahrbahn von 12 m berücksichtigt
Margen zur Berücksichtigung der Verkehrsentwicklung (Abschnitt 5.1)	<ul style="list-style-type: none"> - eine Marge von 5% wurde eingeführt zur Berücksichtigung der Erhöhung des Schwerverkehrsanteils in den kommenden 15 bis 20 Jahren - eine Marge von 10% wurde eingeführt zur Berücksichtigung der Erhöhung des mittleren Gesamtgewichts der Fahrzeuge in den kommenden 15 bis 20 Jahren - die minimal festgelegten Margen für die kurzen Bauwerke sind höher als diejenigen für die langen Bauwerke - die verwendeten Margen können auch den zunehmenden Anteil von 44 Tonnen Fahrzeugen abdecken
Modellfaktor (Abschnitt 5.2)	- ein Modellfaktor von $\gamma_s = 1.1$ wurde berücksichtigt
α -Beiwerte (Abschnitt 5.4)	<ul style="list-style-type: none"> - $\alpha_{Q1} = 0.7$ wurde aufgrund des 99.99%-Fraktilewerts der gemessenen Einzelachslasten festgelegt, d.h. mit einem Wert von 160 kN - $\alpha_{Q2} = 0.5$ wurde festgelegt, um ein optimales Verhältnis zwischen den konzentrierten und den verteilten Lasten des Modells einzuhalten - α_q wurde nach, α_{Q1}, α_{Q2} und in Funktion der gewünschten Margen festgelegt

LITERATURVERZEICHNIS

- [Bailey, 1996] BAILEY, S.F., *Basic Principles and Load Models for the Structural Safety Evaluation of Existing Road Bridges*, Doktorarbeit Nr.1467, Eidgenössische technische Hochschule Lausanne, 1996.
- [Bez, 1985] BEZ, R., CANTIENI, R., JACQUEMOUD, J., *Modélisation du trafic routier suisse*, Ingénieurs et architectes suisses, Nr. 23, Ecublens, 1985.
- [Bez, 1989] BEZ, R., *Modélisation des charges dues au trafic routier*, Doktorarbeit Nr. 793, Eidgenössische technische Hochschule Lausanne, 1989.
- [Buckland, 1975] BUCKLAND, P.G., NAVIN, F.P.D., ZIDEK, J.V., *Bridge traffic loads - are we overdesigning ?* Roads and Transportation Association of Canada, Calgary, 1975.
- [Cantieni, 1983] CANTIENI, R., *Dynamische Belastungsversuche an Strassenbrücken in der Schweiz / 60 Jahre Erfahrung der EMPA*, Bericht Nr. 199, EMPA, Dübendorf, 1983.
- [Flint & Neill, 1986] FLINT and NEILL Partnership, *Interim Design Standard : Long span bridge loading*, Contractor Report 16, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1986.
- [ICOM, 1999] *Mesures et analyse de trafic à Aarwangen*, Mandat des Tiefbauamts des Kantons Bern, Oberingenieurkreis IV, Mandatsbericht 685-2, ICOM, Eidgenössische technische Hochschule Lausanne, 1999.
- [ICOM, 2004] VOLLMAR Th., *Dépouillement et Analyse des Mesures du Trafic routier*, Jahr 2002, Mandatsbericht 446-5, ICOM, Eidgenössische technische Hochschule Lausanne, 2004.
- [Koshini, 1985] KOSHINI, I., *Traffic load measurement and probabilistic modelling for structural design of urban expressways*, ICOSSAR'85, 1985.
- [ASTRA, 1995] BEZ, R., BAILEY, S.F., HAESLER, V., *Modèles de charge actualisés pour l'évaluation de la sécurité structurale de ponts-routes existants*, Forschungsmandat ASTRA 90/90 (Schlussbericht), Nr.°515, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 1995.
- [ASTRA, 1998] BASSETTI, A., BAILEY, S.F., BANZ, A., *Lastfaktoren für Eigenlast und Auflast zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken*, Forschungsmandat ASTRA 86/94 (Schlussbericht), Nr.°530, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 1998.
- [ASTRA, 2001] IMHOF, D., BAILEY, S.F., HIRT, M.A., *Modèle de charge (trafic 40t) pour l'évaluation des ponts-routes à deux voies avec trafic bidirectionnel*, Forschungsmandat ASTRA 81/99, Nr.°556, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 2001.
- [ASTRA, 2004.1] LUDESCHER, H., BRÜHWILER, E., *Vergrößerungsfaktoren für die Wirkung von Strassenverkehr auf bestehende Brücken*, Forschungsmandat ASTRA 89/98, Nr.°571, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 2004.
- [ASTRA, 2004.2] ASTRA, *Schweizerisches Nationalstrassennetz, Durchschnittlicher Tagesverkehr (DTV) 2003 und Verkehrsentwicklung der Motorfahrzeuge 2002/2003*, Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2004.
- [ASTRA, 2004.3] SIEGRIST, R., RUBIN, M., *Jahresstaubericht 2003 – Gemeldete Staus auf den Nationalstrassen*, Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2004.
- [ASTRA, 2005] ASTRA, *Automatische Strassenverkehrszählung, Zählstellenstandorte, Stand 1.1.2005*, Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2005.

- [ASTRA – VSS, 1999] Beilage SN 640 885c, *Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen*, Bundesamt für Strassen (ASTRA) und Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), 1999.
- [SIA 260, 2003] SIA 260, *Grundlagen der Projektierung von Tragwerken*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2003.
- [SIA 261, 2003] SIA 261, *Einwirkungen auf Tragwerke*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2003.
- [SIA 462, 1994] SIA 462, *Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 1994.
- [Rapp Trans AG, 2003] FLEBER SANCHEZ, D., RUESCH, M., *Entwicklungsindizes des schweizerischen Strassenverkehrs, Fortschreibung 1990-2002*, Rapp Trans AG, 2003.
- [Sommer, 1997] SOMMER, H., NEUENSCHWANDER, R., *Auswirkungen der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) und der Ablösung der Gewichtslimite im Strassengüterverkehr*, Ecoplan Wirtschafts- und Umweltstudien, Bern, 1997.

Internetseite : <http://www.verkehrsdaten.ch>

ANHANG

A.1 METHODE ZUR AUFTEILUNG DER FAHRZEUGE IN KLASSEN

Zur Aufteilung der Fahrzeuge in Klassen wird als erstes Kriterium die Aufteilung nach der Anzahl Achsen eingeführt, wie es in der Tabelle A.1 dargestellt ist. Anschliessend wird innerhalb der einzelnen Klassen noch nach den verschiedenen Achsabständen differenziert.

Tabelle A.1 – Klassierung der Fahrzeuge nach der Anzahl der Achsen

Achsen	Fahrzeugklassen
2	
3	
4	
5	
6	

In Bild A.1 wird anhand der Fahrzeugklasse mit 4 Achsen gezeigt, wie durch das Berücksichtigen zusätzlicher Kriterien eine weitere Verfeinerung der Klassierung möglich ist.

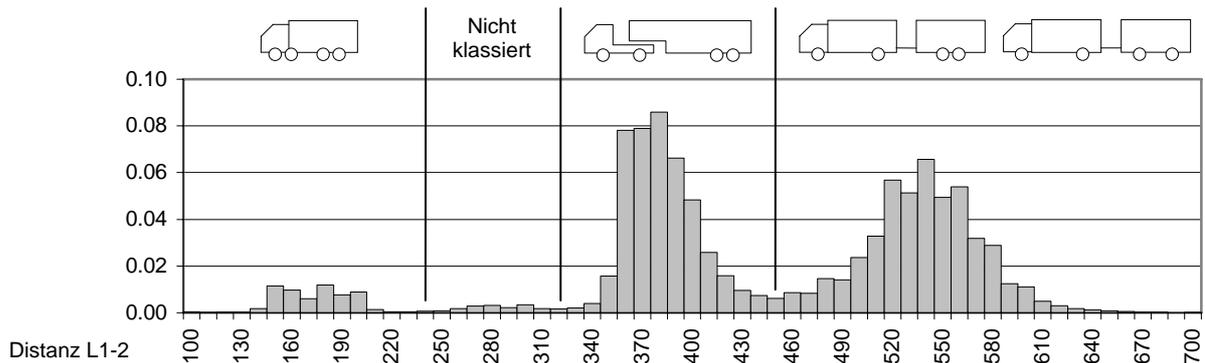


Bild A.1 – Statistik der Distanzen zwischen den Achsen 1 und 2 aller 4-achsigen Fahrzeuge

Die komplette Liste der Kriterien, die zur Aufteilung der Fahrzeuge in Klassen angewendet wurde, ist in der Tabelle A.2 aufgeführt. Es wurde ein Kriterium bezüglich des Gewichts angefügt, um die Fahrzeuge, die leichter als 3.5 Tonnen sind, zu eliminieren.

A.2 BERECHNUNGSMETHODE FÜR DIE VERKEHRZUSAMMENSETZUNG

Den Anteil des leichten Verkehrs erhält man durch den Vergleich zwischen der totalen Anzahl Fahrzeuge, welche die Wägestation während der Messung passiert haben und dem gewogenen Schwerverkehr. Um die Zeitspanne zu berücksichtigen, in denen praktisch kein Schwerverkehr zirkuliert (während der Nacht und an Feiertagen), wird ein Reduktionsfaktor von $p_{sv} = 2/3$ auf die totalen Anzahl Fahrzeuge angewendet. Im folgenden Beispiel wird anhand der Verkehrsströme von Mattstetten 2003 erläutert, wie der Anteil an leichtem Verkehr berechnet werden kann :

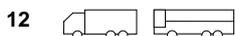
$$p(< 3.5 \text{ t}) = 1 - N_{\text{schwer}} / (N_{\text{total}} \cdot p_{sv}) = 1 - 2'289'927 / (25'043'200 \cdot 2/3) = 86\%$$

- N_{schwer} : Anzahl der Fahrzeuge > 3.5 t die während der betrachteten Zeitspanne gewogen wurden
- N_{total} : Totale Anzahl der Fahrzeuge die während der betrachteten Zeitspanne die Messstation passiert haben, inklusive denen < 3.5 t
- p_{sv} : Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Verkehrsströme ohne Schwerverkehr

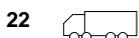
Tabelle A.2 – Kriterien zur Aufteilung der Fahrzeuge in Klassen



Anzahl Achsen	N = 2
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.60 < L1-2 < 7.20
Totales Gewicht [kN]	60 < Ptot < 300



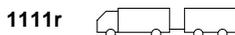
Anzahl Achsen	N = 3
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.60 < L1-2 < 7.20
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	0.60 < L2-3 < 2.40
Totales Gewicht [kN]	70 < Ptot < 450



Anzahl Achsen	N = 4
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	0.60 < L1-2 < 2.40
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	2.00 < L2-3 < 6.40
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	0.60 < L3-4 < 2.40
Totales Gewicht [kN]	80 < Ptot < 600



Anzahl Achsen	N = 3
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.20 < L1-2 < 4.50
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	3.60 < L2-3 < 8.60
Totales Gewicht [kN]	70 < Ptot < 450



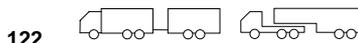
Anzahl Achsen	N = 4
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.60 < L1-2 < 6.40
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	3.60 < L2-3 < 7.20
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	3.60 < L3-4 < 6.40
Totales Gewicht [kN]	80 < Ptot < 600



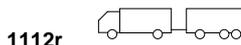
Anzahl Achsen	N = 4
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	4.50 < L1-2 < 6.40
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	3.60 < L2-3 < 8.60
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	0.60 < L3-4 < 2.40
Totales Gewicht [kN]	80 < Ptot < 600



Anzahl Achsen	N = 5
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.60 < L1-2 < 6.40
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	0.60 < L2-3 < 2.40
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	3.60 < L3-4 < 6.40
Distanz zw. Achsen 4 und 5 [m]	3.60 < L4-5 < 6.40
Totales Gewicht [kN]	90 < Ptot < 750



Anzahl Achsen	N = 5
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.60 < L1-2 < 6.40
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	0.60 < L2-3 < 2.40
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	3.60 < L3-4 < 8.60
Distanz zw. Achsen 4 und 5 [m]	0.60 < L4-5 < 2.40
Totales Gewicht [kN]	90 < Ptot < 750



Anzahl Achsen	N = 5
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.60 < L1-2 < 6.40
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	3.60 < L2-3 < 6.40
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	3.60 < L3-4 < 6.40
Distanz zw. Achsen 4 und 5 [m]	0.60 < L4-5 < 2.40
Totales Gewicht [kN]	90 < Ptot < 750



Anzahl Achsen	N = 4
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.20 < L1-2 < 4.50
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	3.60 < L2-3 < 8.60
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	0.60 < L3-4 < 2.40
Totales Gewicht [kN]	80 < Ptot < 600



Anzahl Achsen	N = 5
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	3.20 < L1-2 < 4.50
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	3.60 < L2-3 < 8.60
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	0.60 < L3-4 < 2.40
Distanz zw. Achsen 4 und 5 [m]	0.60 < L4-5 < 2.40
Totales Gewicht [kN]	90 < Ptot < 750



Anzahl Achsen	N = 6
Distanz zw. Achsen 1 und 2 [m]	2.40 < L1-2 < 3.60
Distanz zw. Achsen 2 und 3 [m]	0.60 < L2-3 < 2.40
Distanz zw. Achsen 3 und 4 [m]	3.60 < L3-4 < 8.60
Distanz zw. Achsen 4 und 5 [m]	0.60 < L4-5 < 2.40
Distanz zw. Achsen 5 und 6 [m]	0.60 < L5-6 < 2.40
Totales Gewicht [kN]	100 < Ptot < 900

Die proportionalen Anteile der einzelnen Lastwagentypen können anhand der Wägestationen ermittelt werden. Die Fahrzeuge, welche keiner bestimmten, definierten Klasse zugeordnet werden können, werden proportional durch Fahrzeuge anderer Klassen mit der gleichen Anzahl Achsen ersetzt. Alle Fahrzeuge mit 7 oder mehr Achsen werden durch äquivalente Fahrzeuge mit 2 bis 6 Achsen ersetzt. In Bild A.2 wird das Vorgehen erklärt, wie die Verkehrszusammensetzung von Mattstetten bestimmt werden kann. Diese modifizierte Zusammensetzung wird in den Simulationen verwendet.

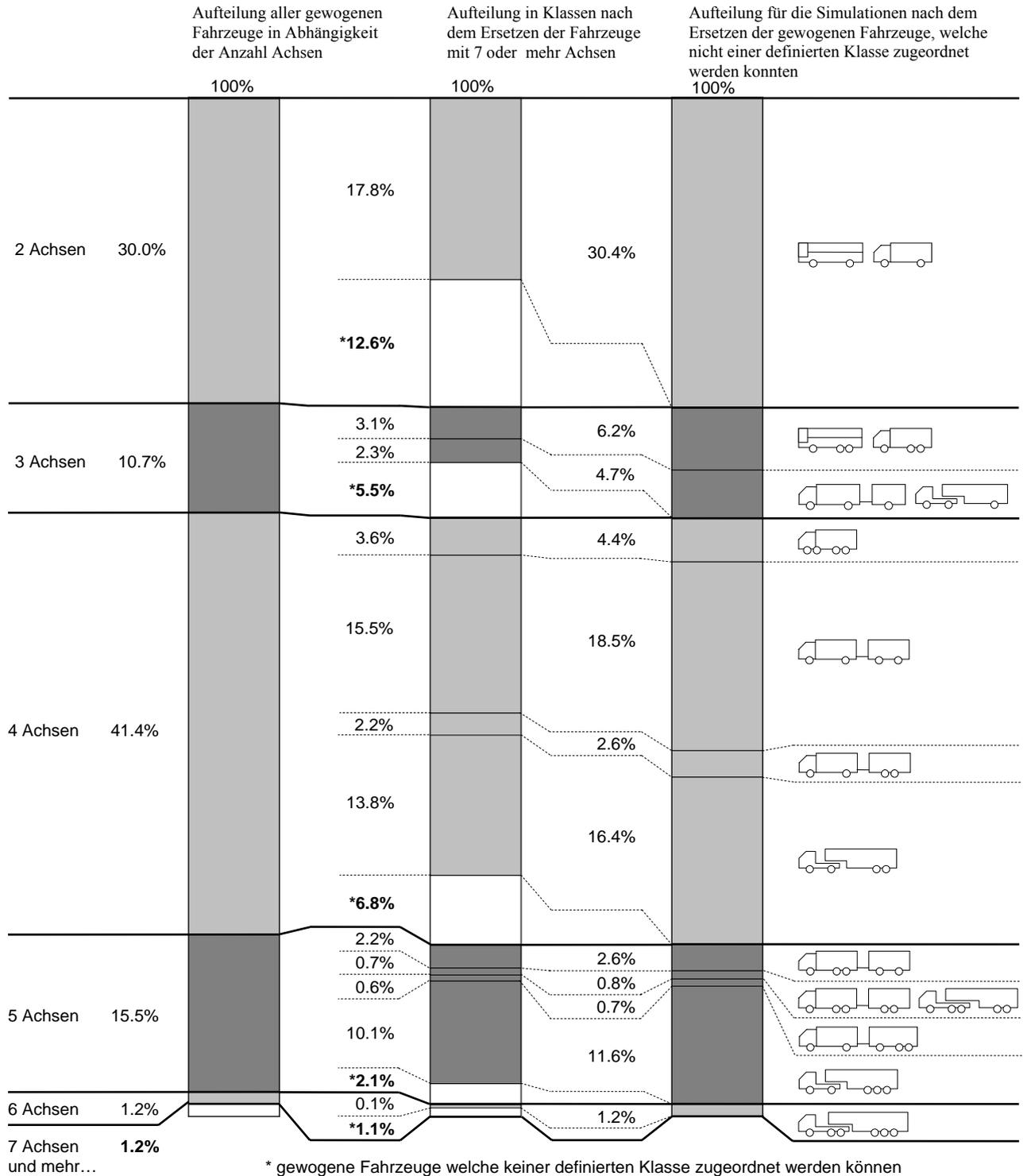


Bild A.2 – Berechnung der zu simulierenden Verkehrszusammensetzung, Mattstetten 2003

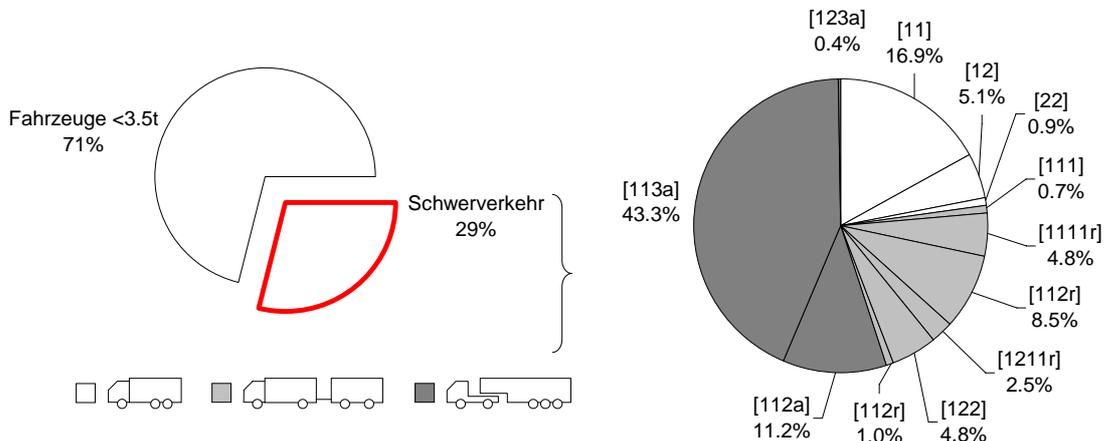
Das Hauptkriterium, warum ein Fahrzeug nicht berücksichtigt wird, ist ein Mindestgewicht das erforderlich ist, um in eine Klasse eingeteilt zu werden. Dies erklärt den relativ grossen Anteil nicht klassierter

Fahrzeuge. Die Methode der Umverteilung der Fahrzeuge erzeugt eine leicht konservative Verkehrszusammensetzung.

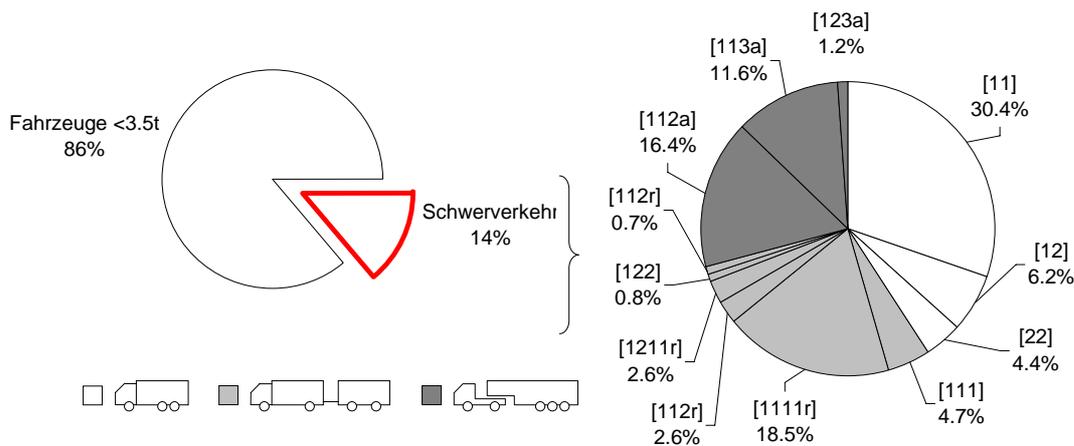
A.3 VERKEHRZUSAMMENSETZUNG

Die Graphiken dieses Abschnitts zeigen die Zusammensetzungen verschiedener Verkehrsströme, welche für die Simulationen angenommen wurden. Die Zusammensetzungen basieren auf den Daten der Wägestationen.

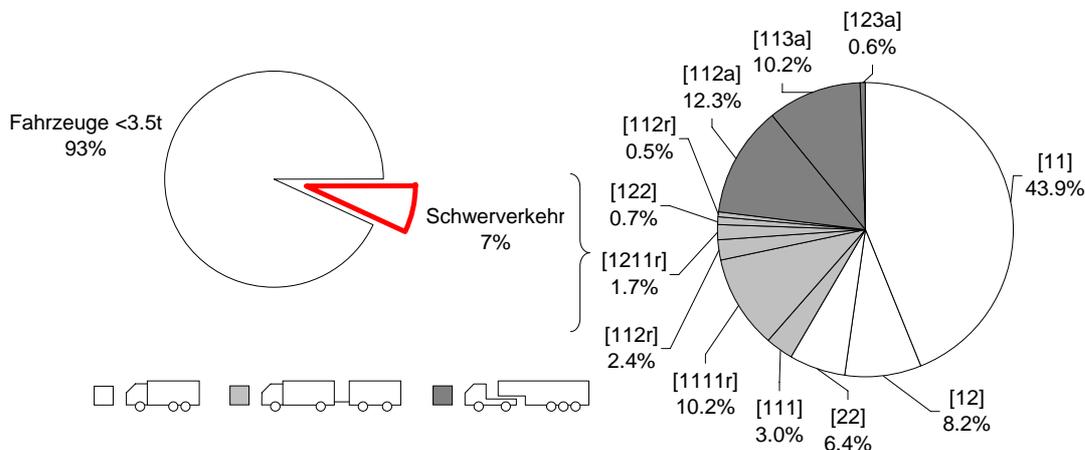
Göschenen 2003



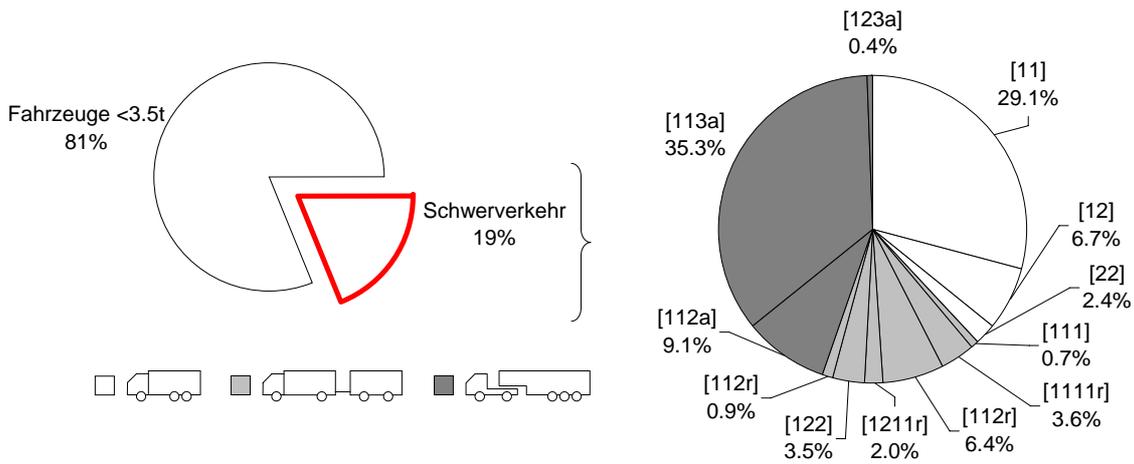
Mattstetten 2003



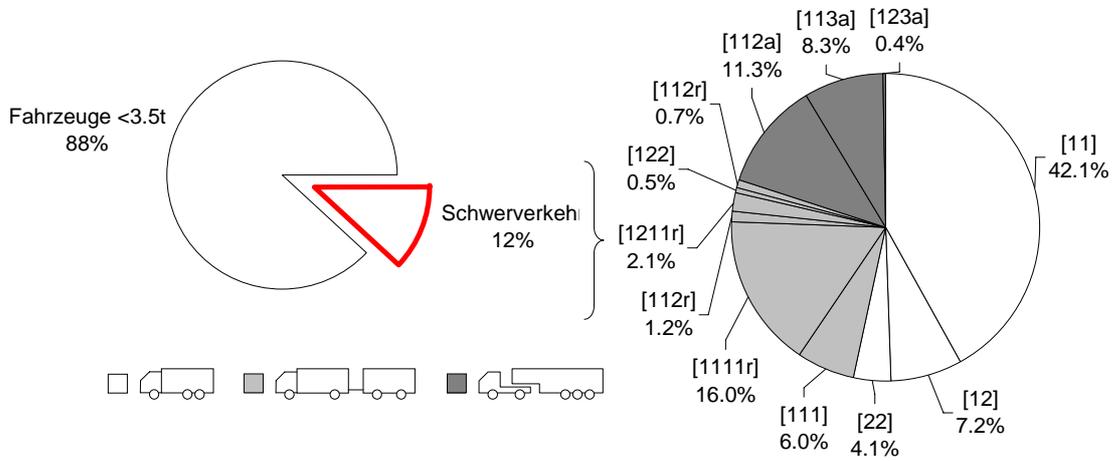
Denges 2003



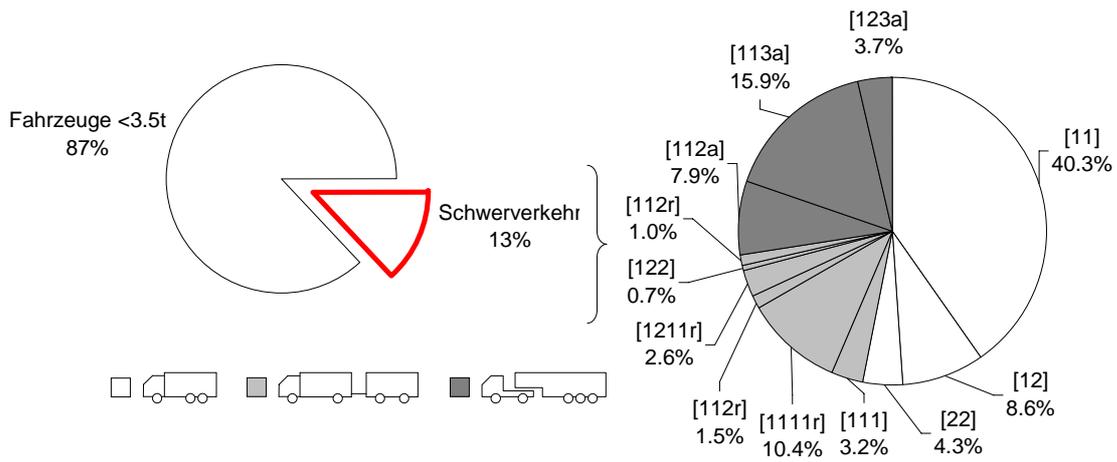
Ceneri 2003



Oberbüren 2003



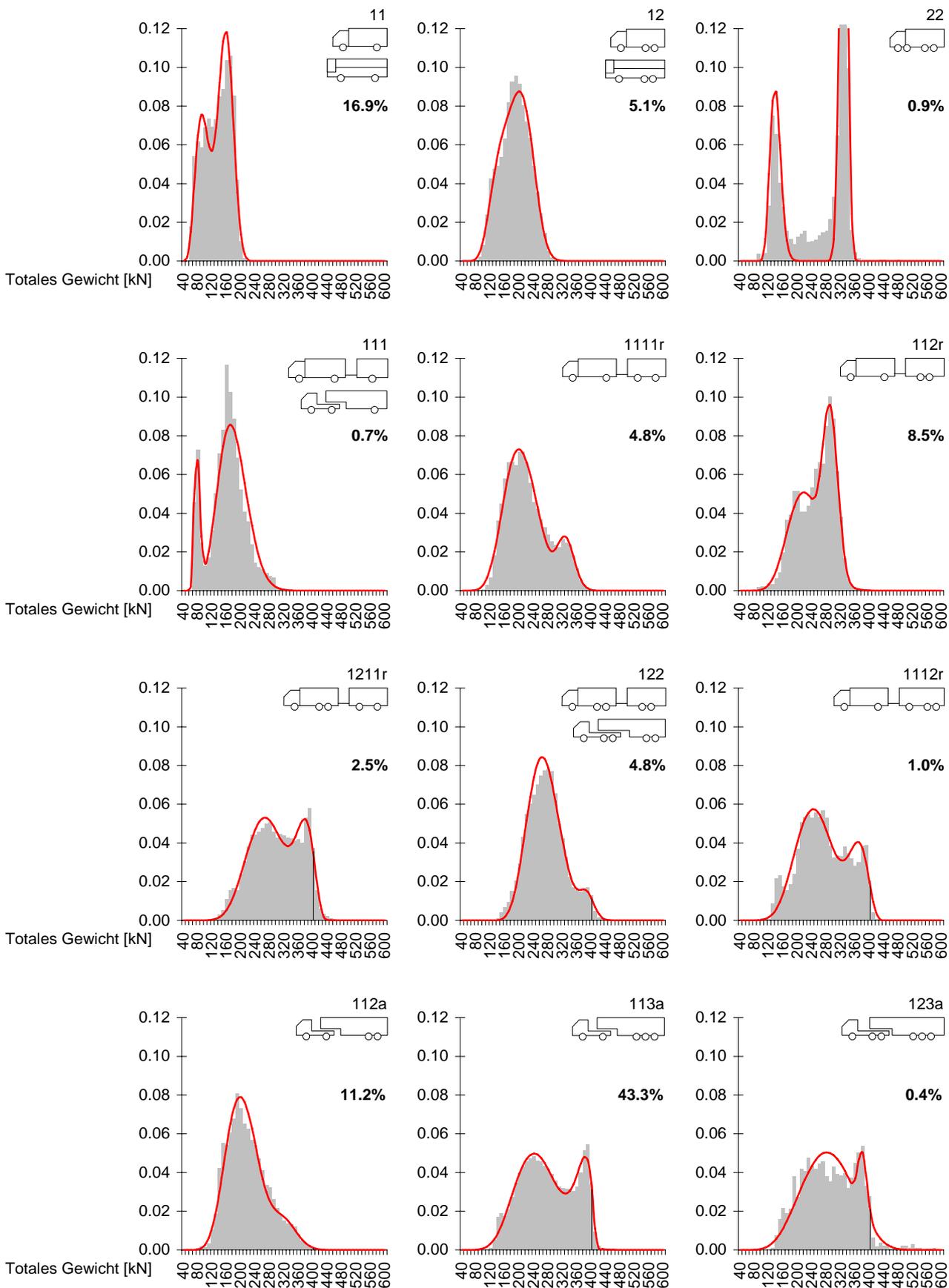
Trübbach 2003



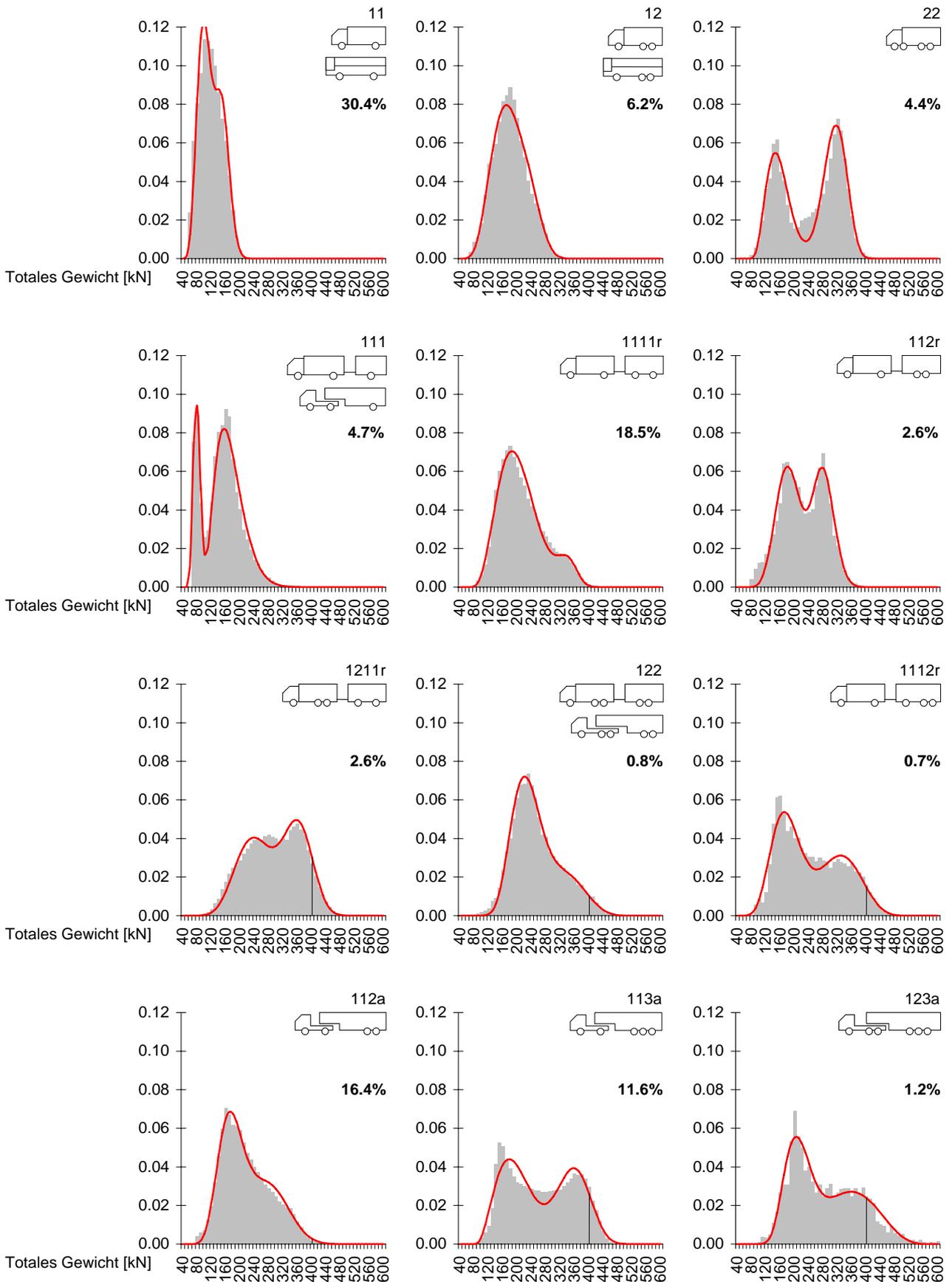
A.4 VERTEILUNG DES TOTALEN GEWICHTS

Dieser Abschnitt zeigt die Verteilung des totalen Gewichts aller in den Simulationen berücksichtigten Fahrzeugtypen. Die Histogramme stellen die Messresultate und die Kurven die bimodale Beta-Verteilung dar, welche anschliessend ins Programm eingegeben wird.

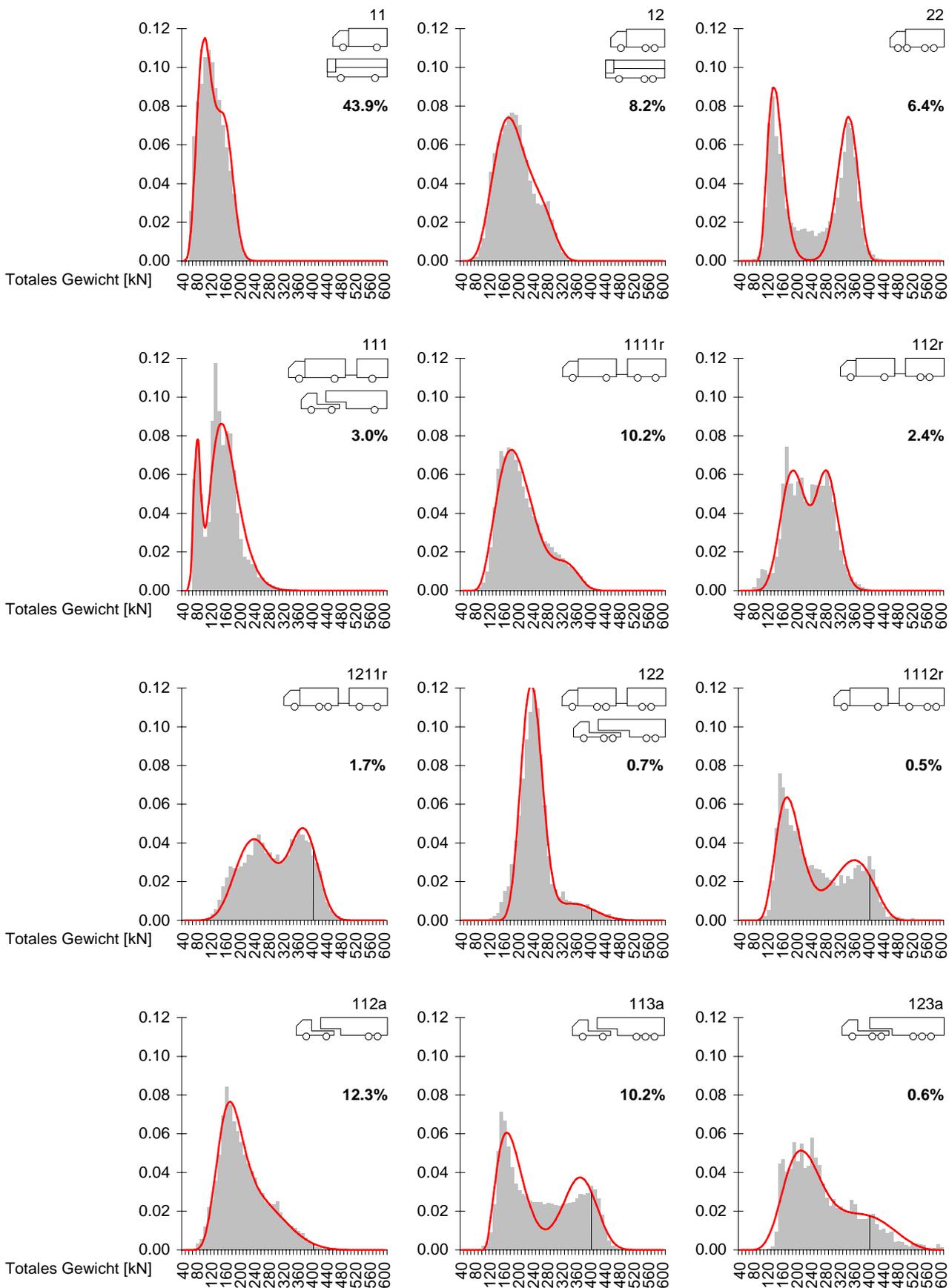
Göschenen 2003



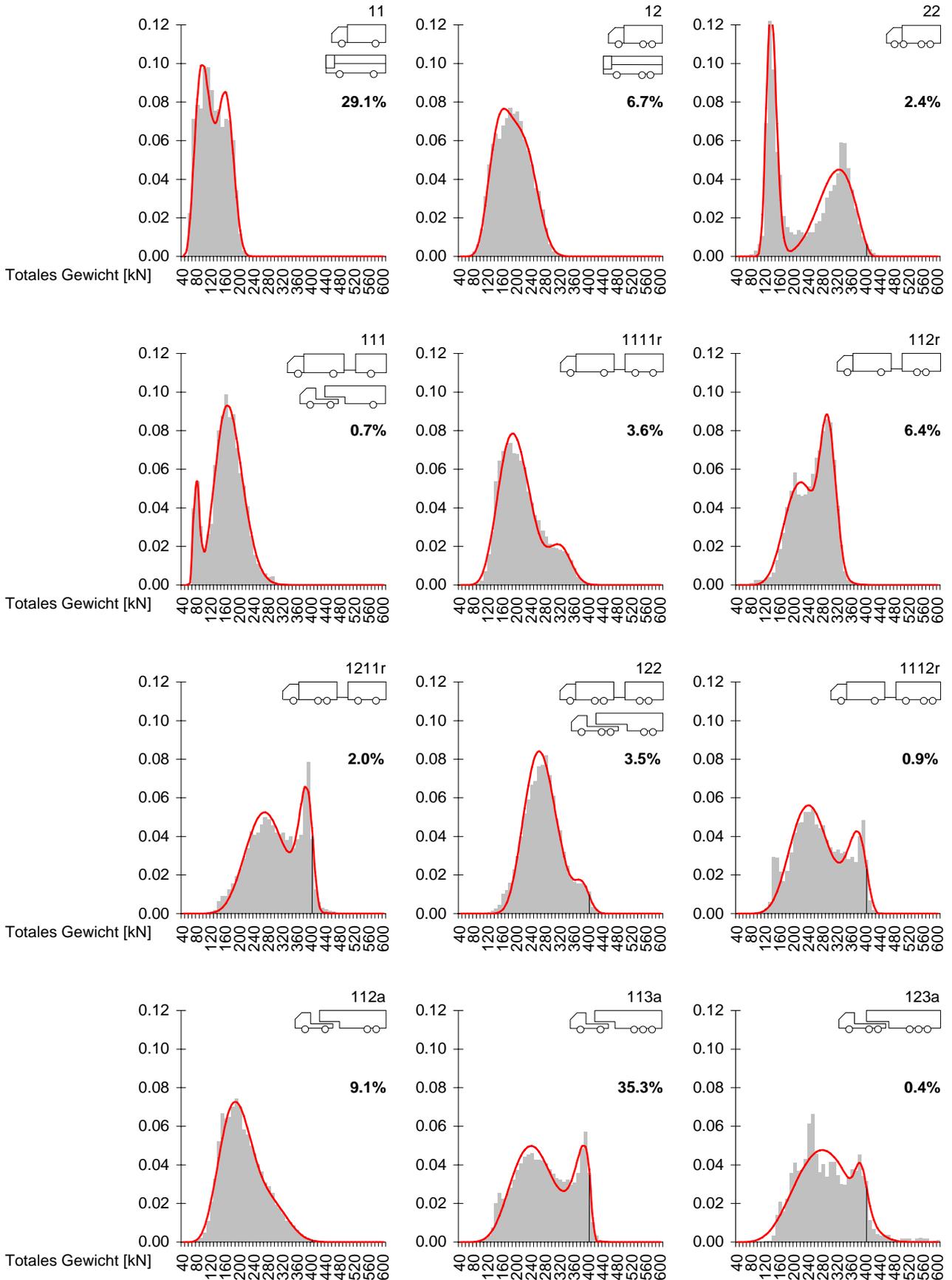
Mattstetten 2003



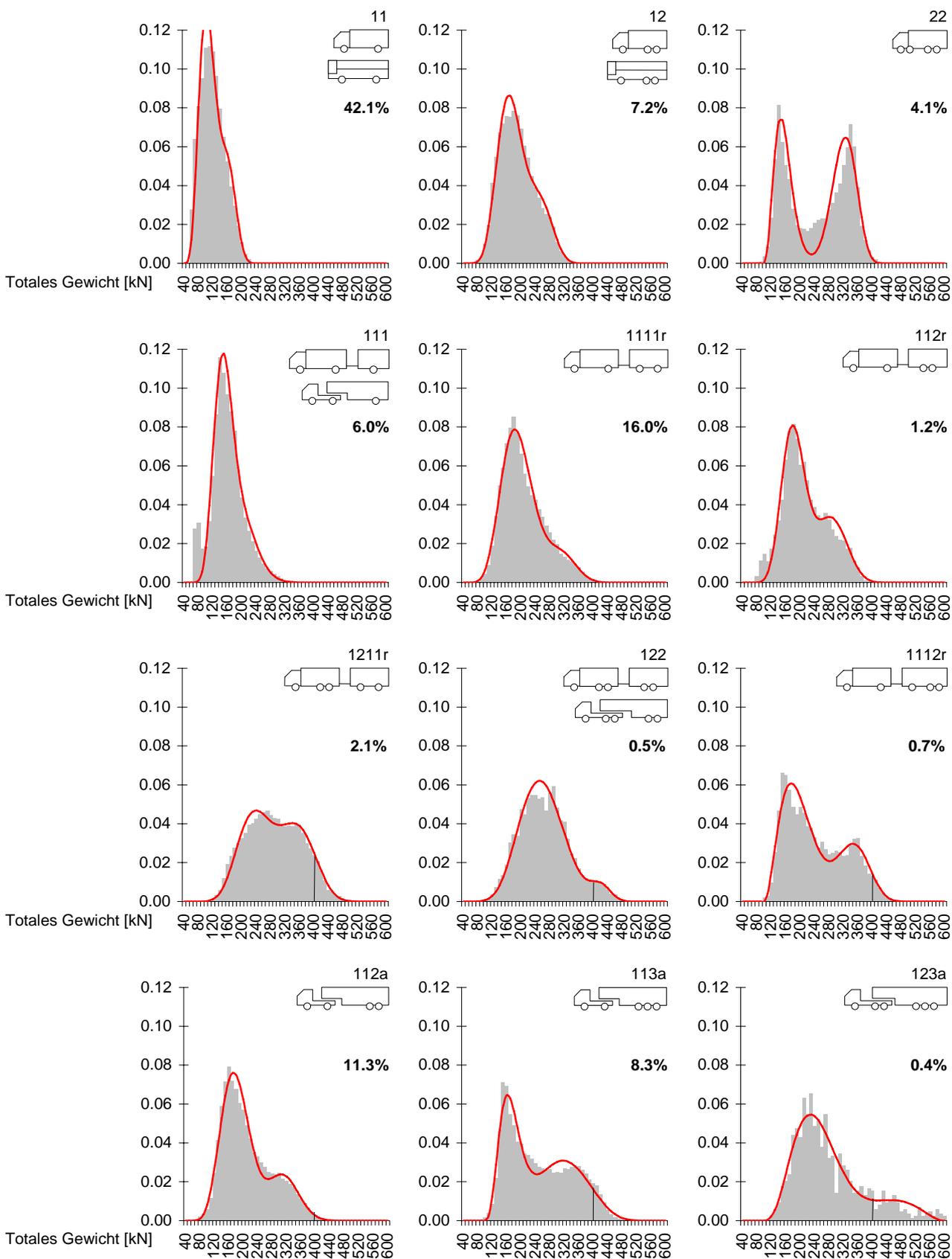
Denges 2003



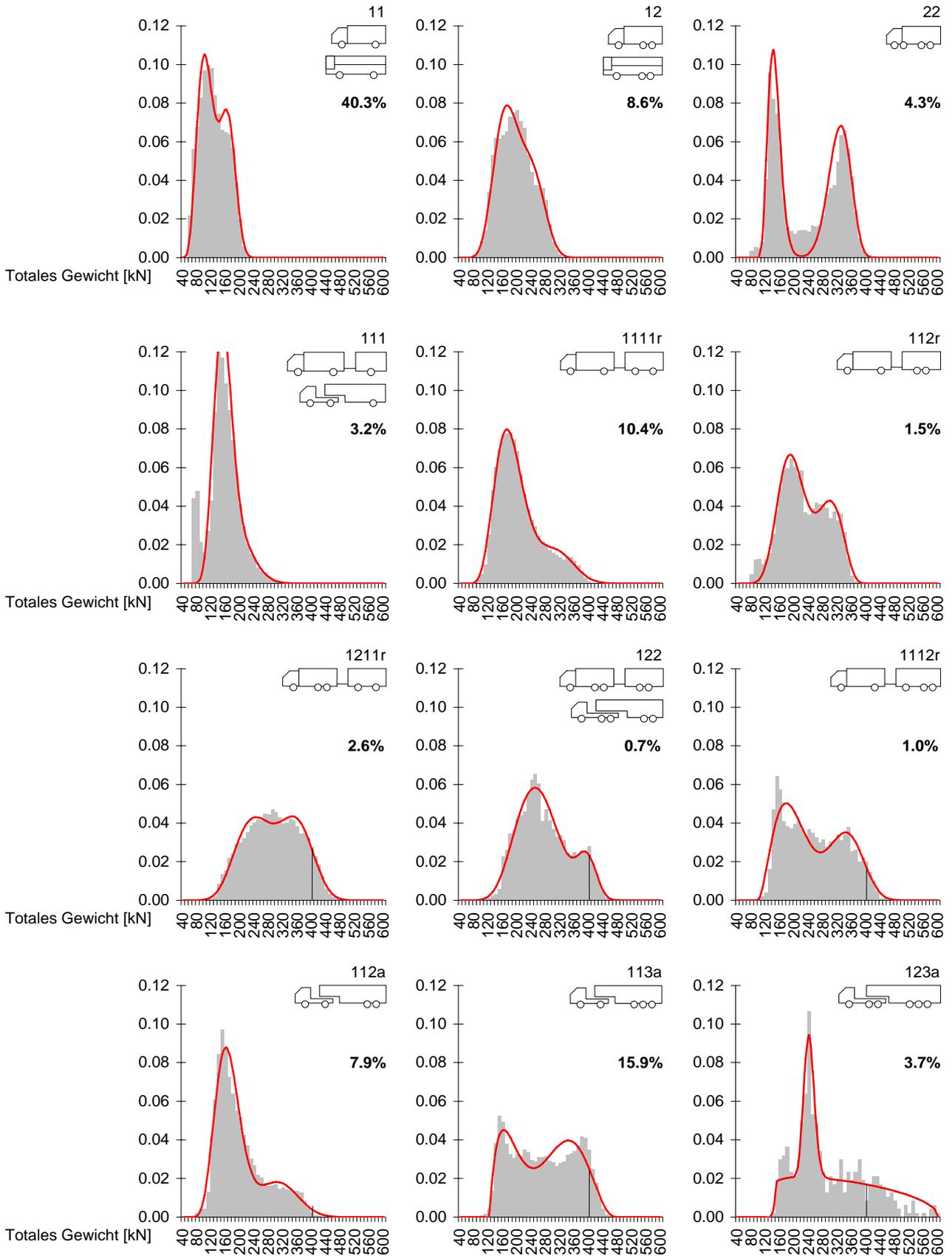
Ceneri 2003



Oberbüren 2003



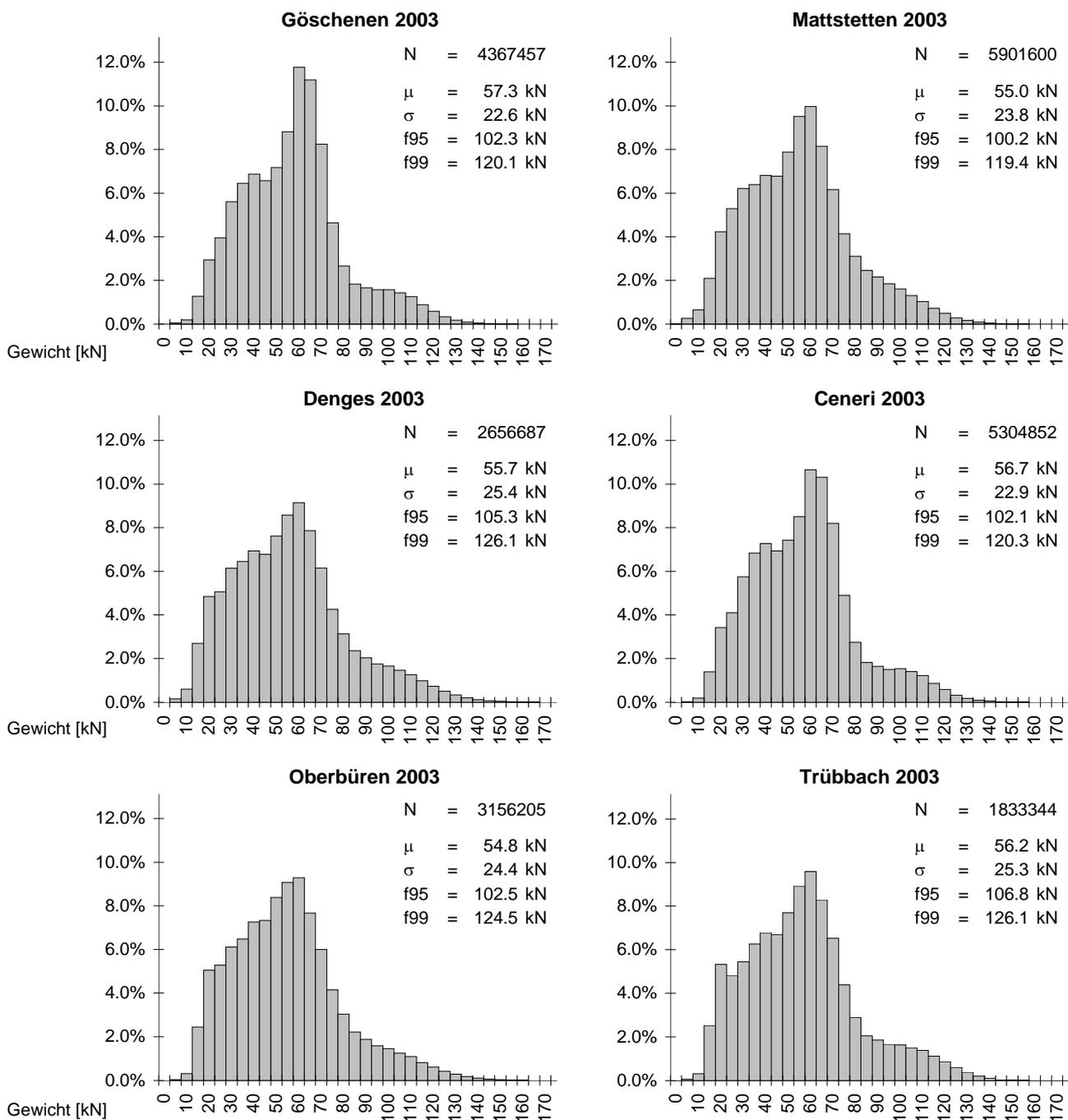
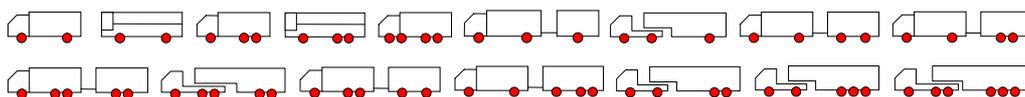
Trübbach 2003



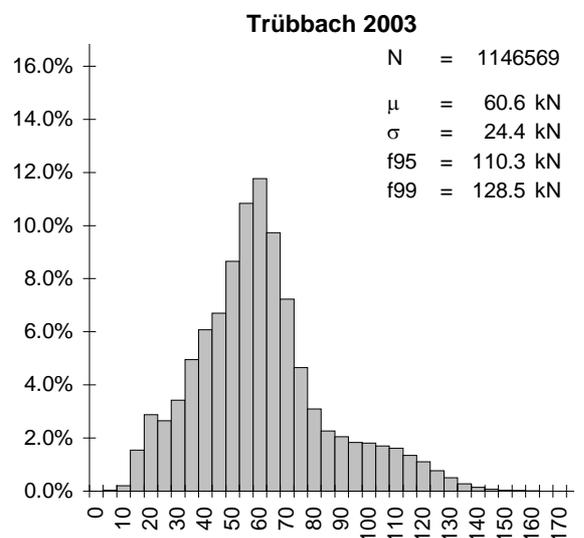
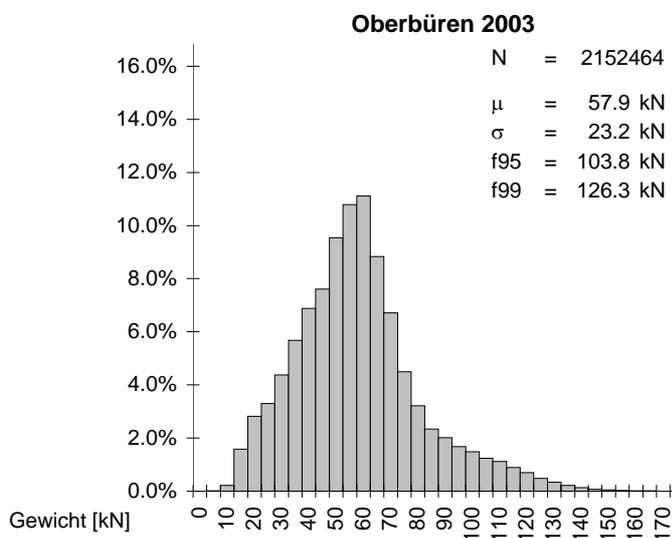
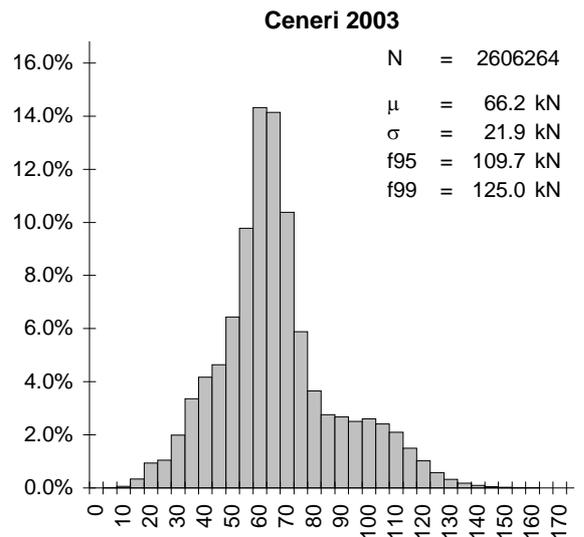
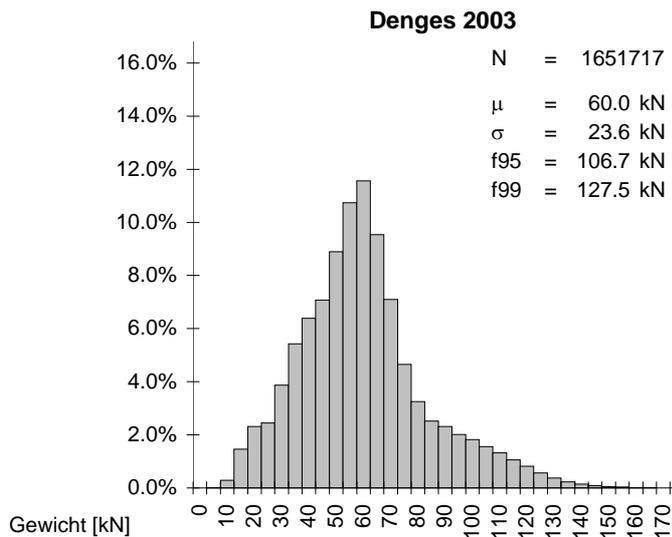
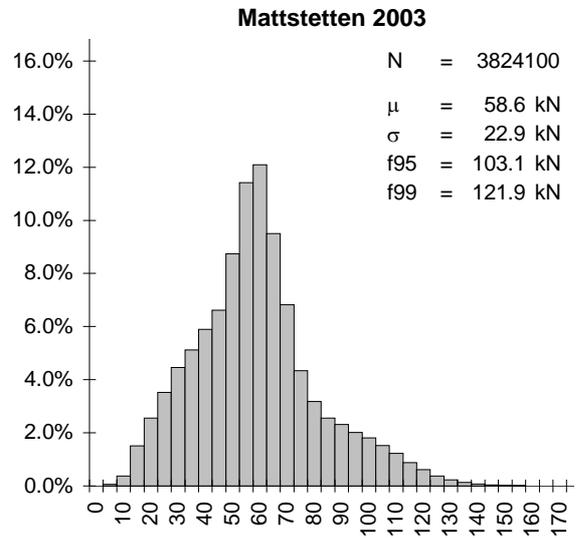
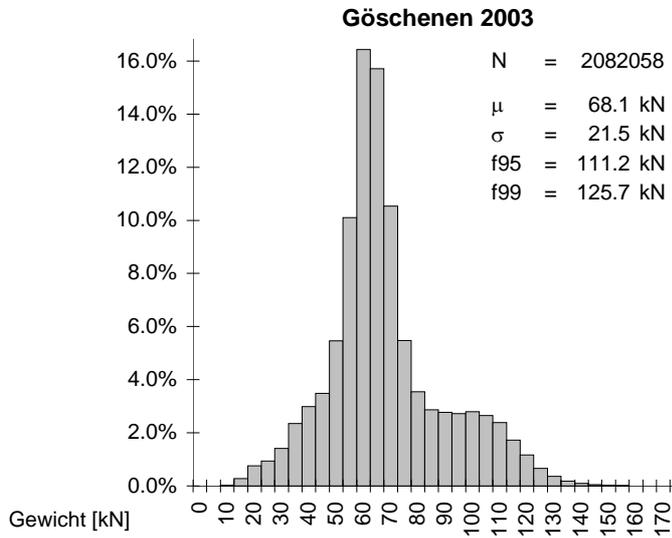
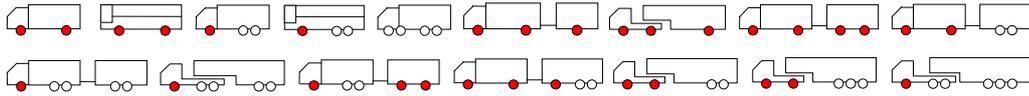
A.5 ACHSLASTEN

Dieser Abschnitt enthält die Statistiken der Achslasten, welche aufgrund der Daten aus den Wägestationen ermittelt wurden. Dabei wurden nur die Achsen der klassierten Fahrzeuge berücksichtigt. Der erste Teil zeigt die Statistiken aller Achsen und die drei folgenden Teile zeigen die Statistiken von Einzel-, Doppel- respektive Dreifachachsen.

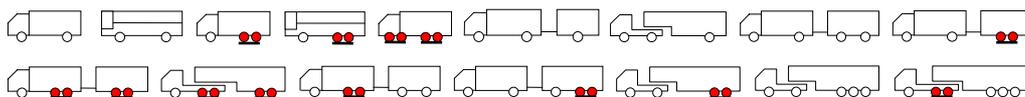
Alle Achsen der klassierten Fahrzeuge



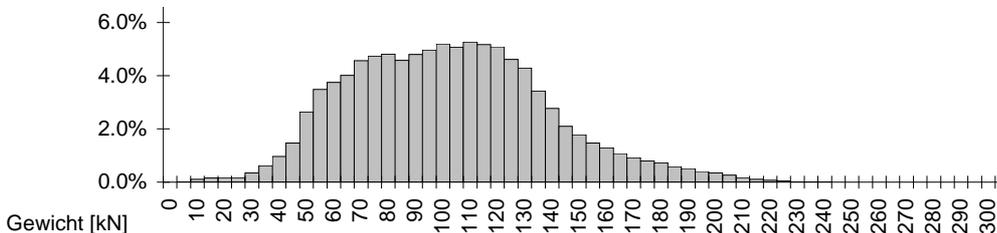
Einzelachsen von klassierten Fahrzeugen



Doppelachsen von klassierten Fahrzeugen

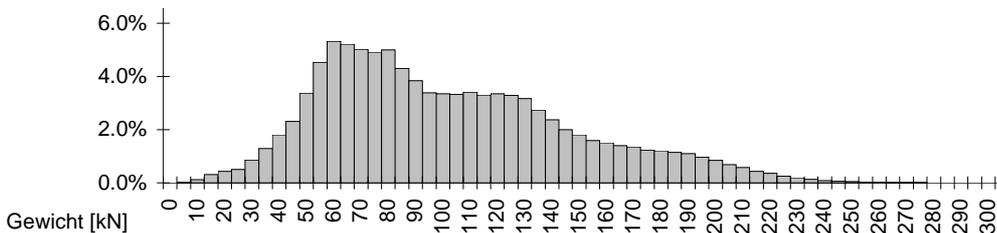


Göschenen 2003



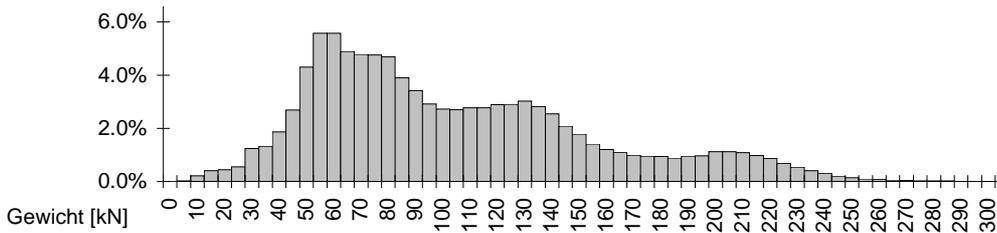
N = 404617
 μ = 102.5 kN
 σ = 36.2 kN
 f95 = 167.7 kN
 f99 = 198.6 kN

Mattstetten 2003



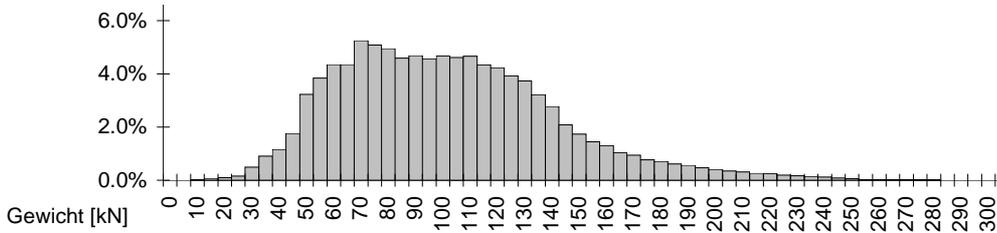
N = 692979
 μ = 102.4 kN
 σ = 46.1 kN
 f95 = 191.4 kN
 f99 = 221.1 kN

Denges 2003



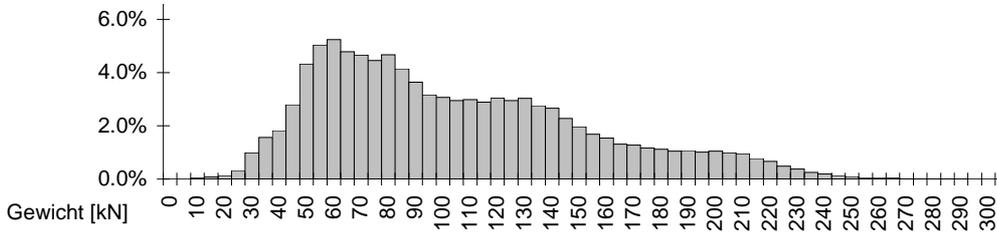
N = 342633
 μ = 104.4 kN
 σ = 52.4 kN
 f95 = 210.7 kN
 f99 = 239.4 kN

Ceneri 2003



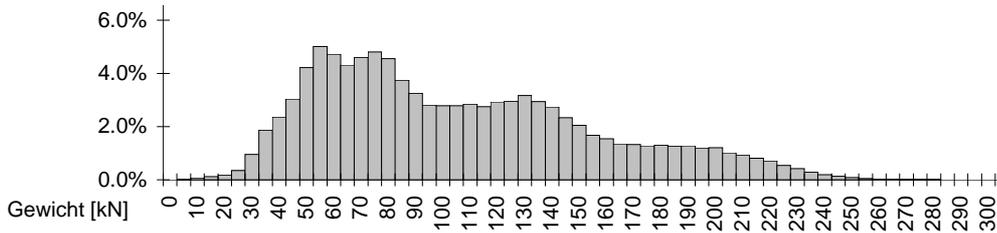
N = 511034
 μ = 102.2 kN
 σ = 40.1 kN
 f95 = 176.9 kN
 f99 = 221.3 kN

Oberbüren 2003



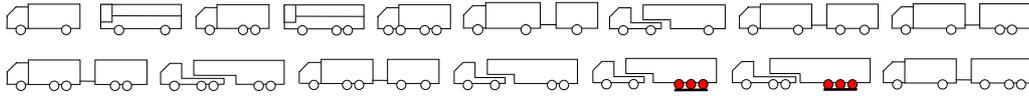
N = 347939
 μ = 105.1 kN
 σ = 49.6 kN
 f95 = 203.3 kN
 f99 = 231.9 kN

Trübbach 2003

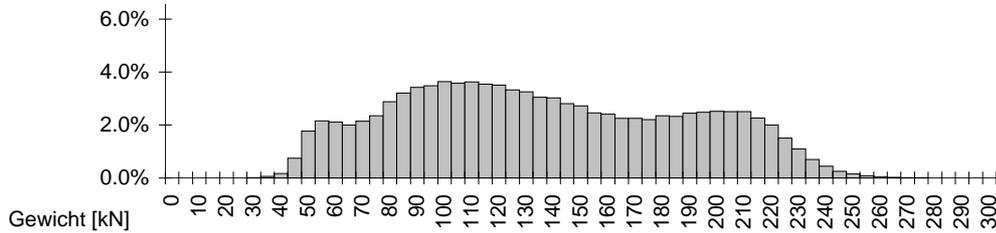


N = 199524
 μ = 106.0 kN
 σ = 50.7 kN
 f95 = 203.9 kN
 f99 = 230.9 kN

Dreifachachsen von klassierten Fahrzeugen

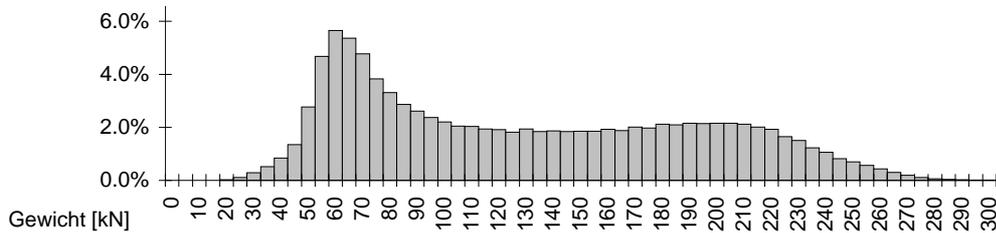


Göschenen 2003



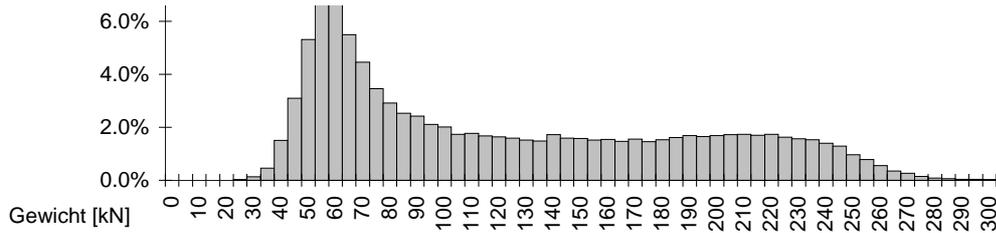
N = 492055
 μ = 136.4 kN
 σ = 51.3 kN
 f95 = 221.0 kN
 f99 = 238.5 kN

Mattstetten 2003



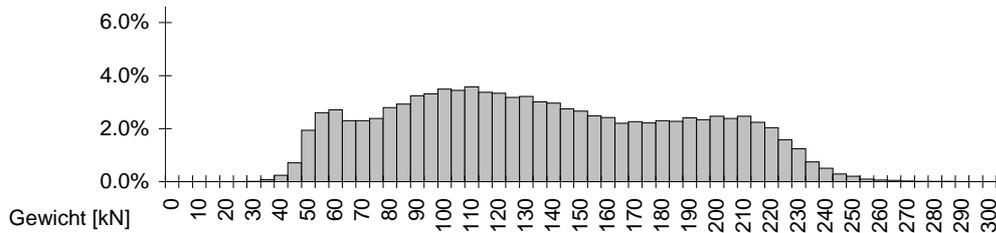
N = 230514
 μ = 129.3 kN
 σ = 62.7 kN
 f95 = 234.9 kN
 f99 = 260.0 kN

Denges 2003



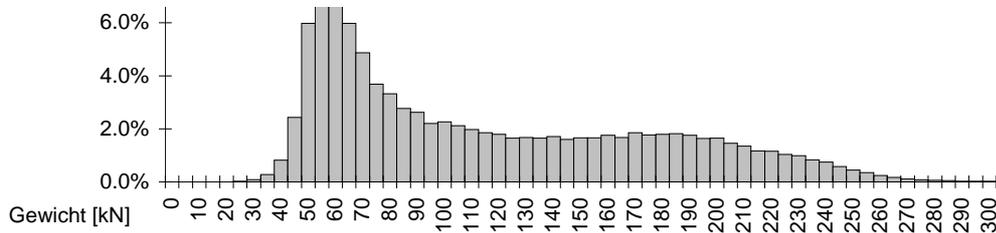
N = 106568
 μ = 122.6 kN
 σ = 66.7 kN
 f95 = 241.3 kN
 f99 = 263.8 kN

Ceneri 2003



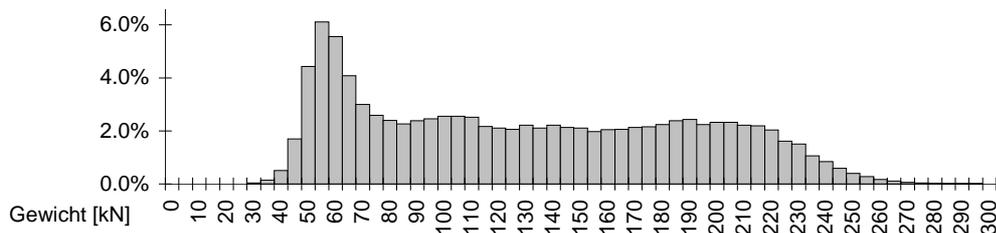
N = 558840
 μ = 135.8 kN
 σ = 52.5 kN
 f95 = 222.4 kN
 f99 = 240.4 kN

Oberbüren 2003



N = 102621
 μ = 114.1 kN
 σ = 60.1 kN
 f95 = 226.4 kN
 f99 = 255.2 kN

Trübbach 2003



N = 95909
 μ = 129.6 kN
 σ = 60.2 kN
 f95 = 228.0 kN
 f99 = 249.3 kN

A.6 MARGEN DES AKTUALISIERTEN MODELLS

Die Graphiken in diesem Abschnitt zeigen die Margen zwischen den aus den Simulationen erhaltenen Schnittkräfte und den nach dem vorgeschlagenen aktualisierten Modell berechneten Schnittkräfte auf. Das Bild A.3 zeigt ein Beispiel mit einer erklärenden Legende.

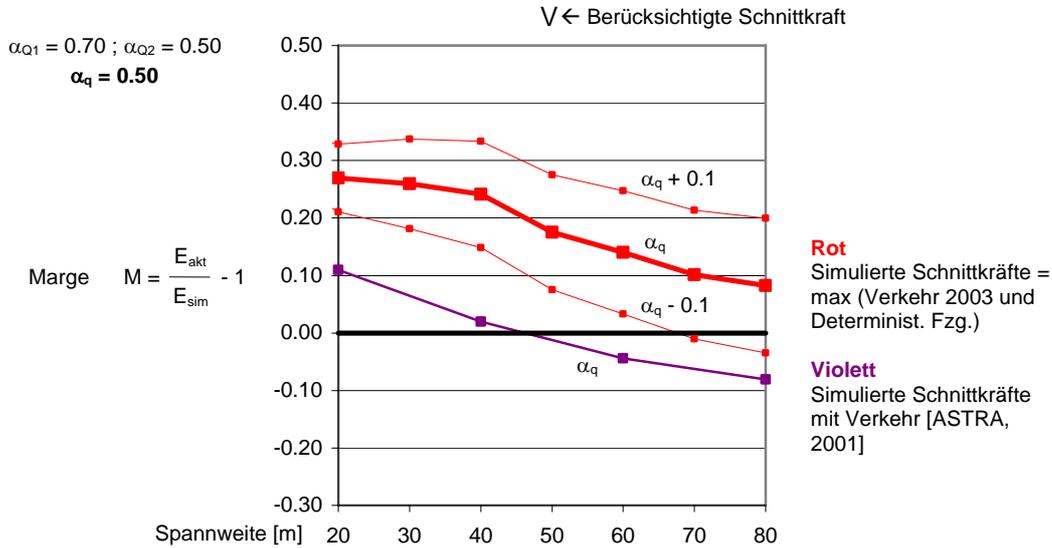
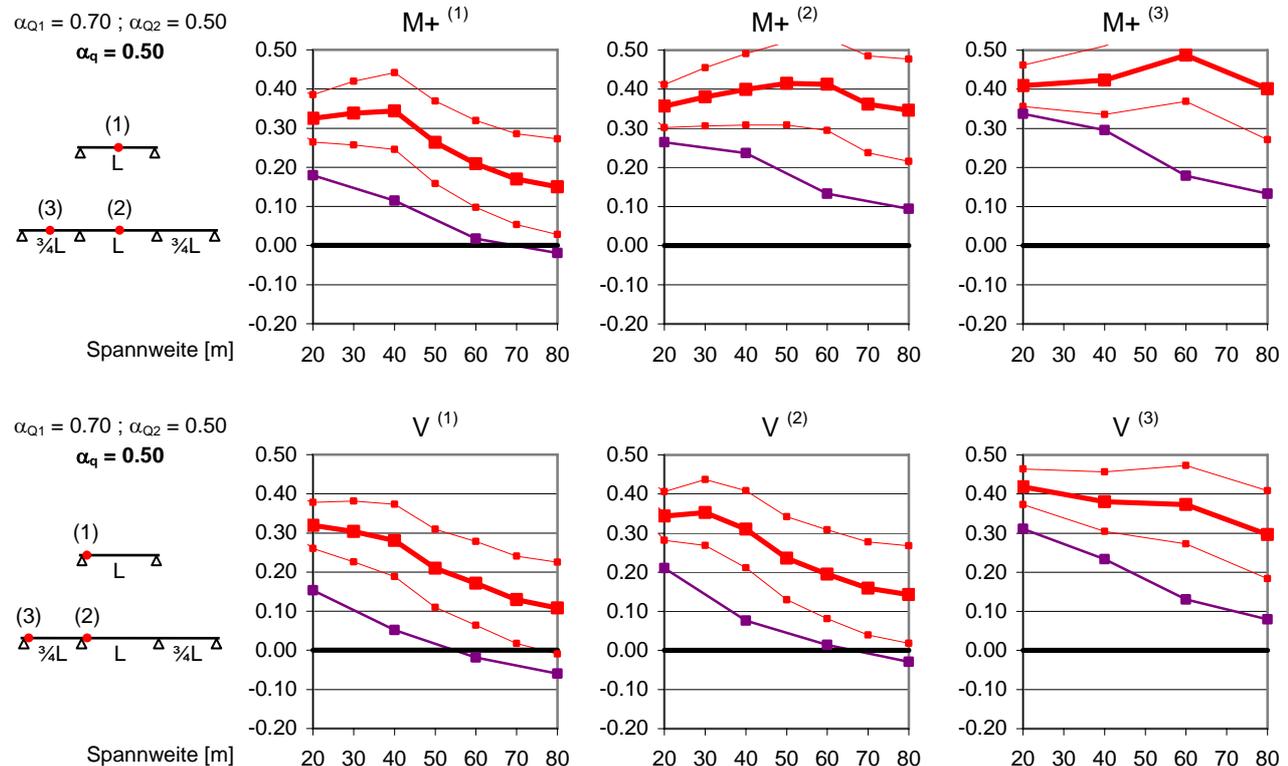
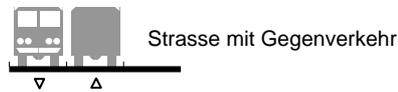


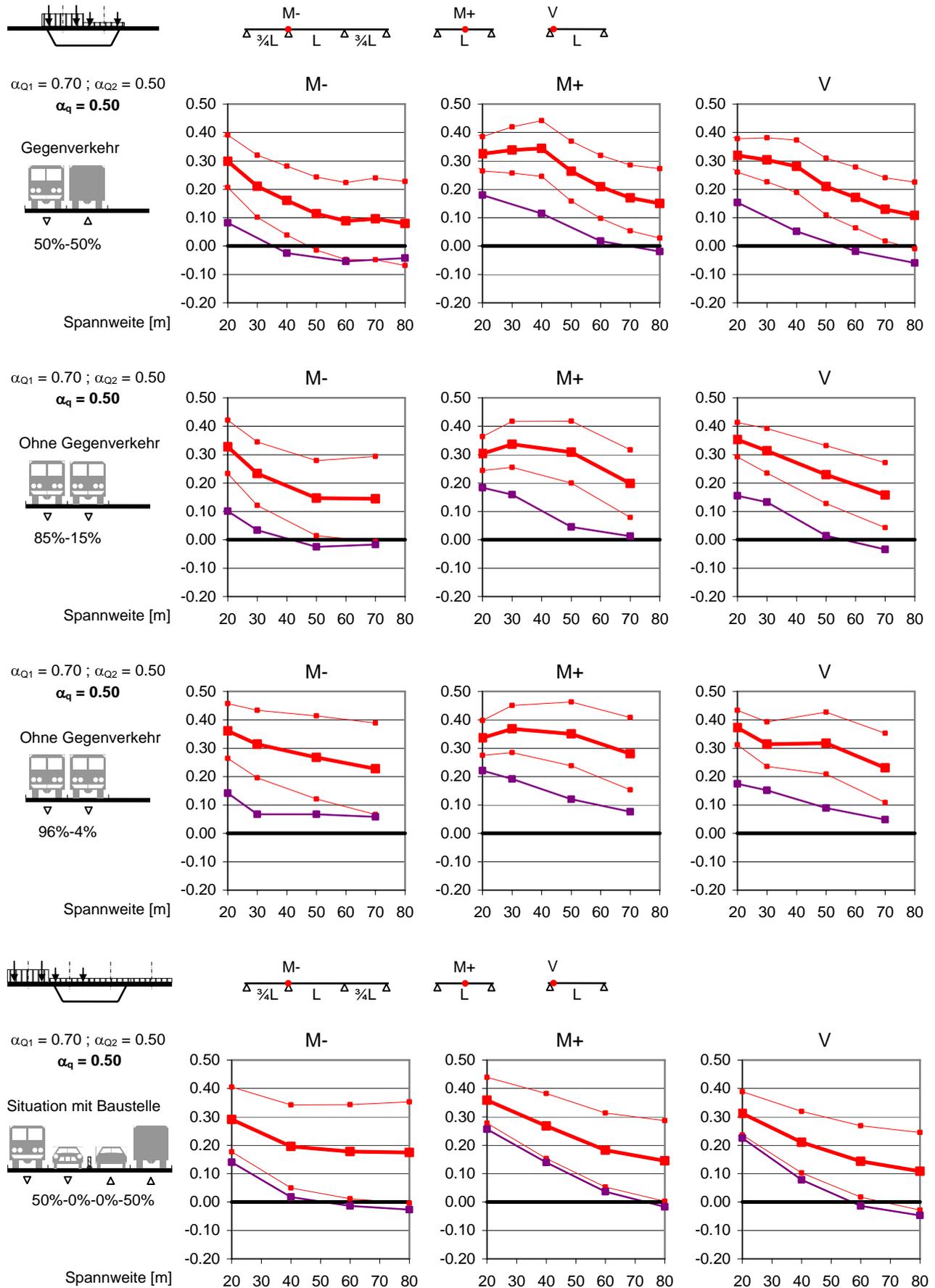
Bild A.3 – Beispiel der Margen zwischen Schnittkräften aus Simulation und aus aktualisiertem Modell

A.6.1 Kastenbrücke

Vergleich der Schnittkräfte

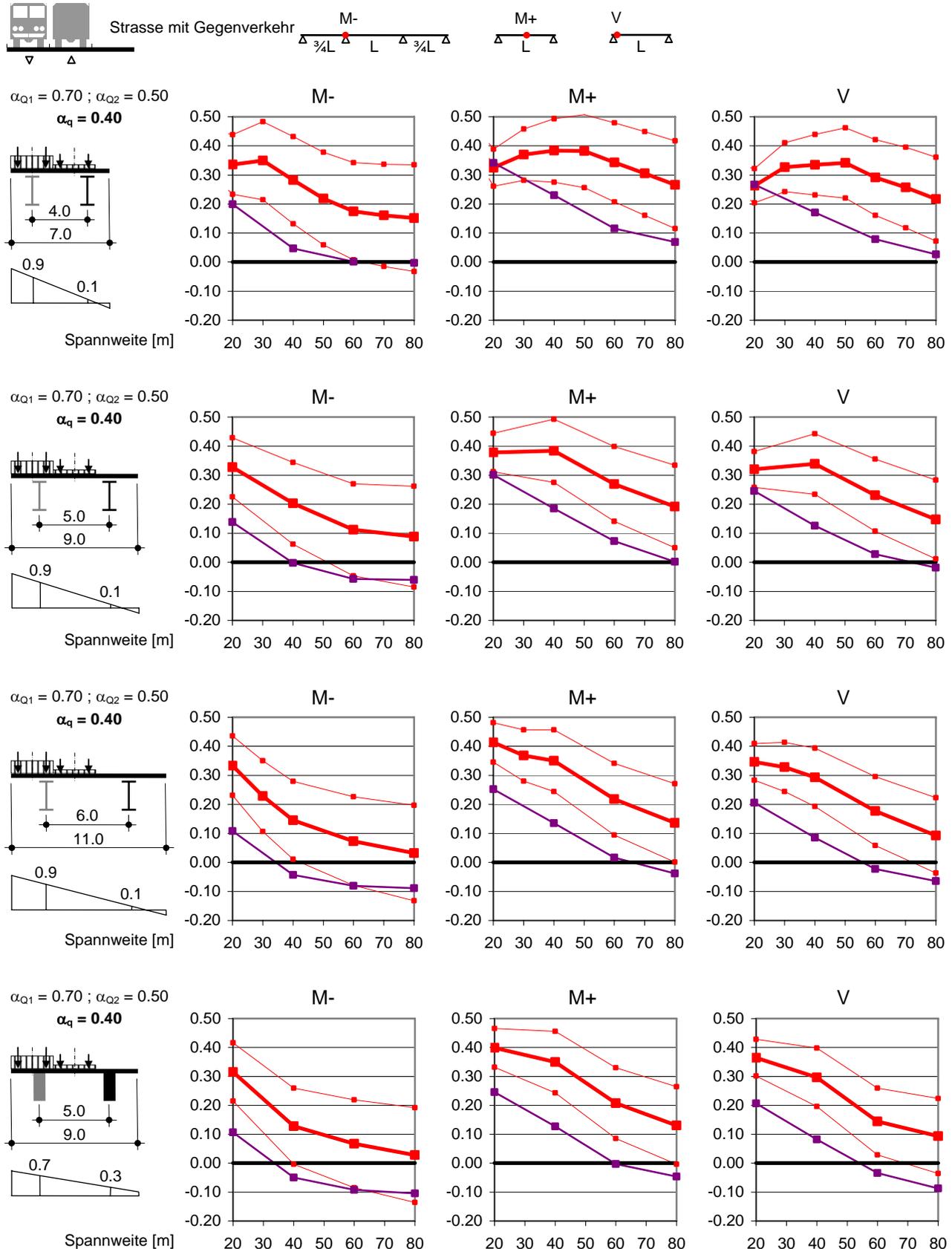


Varianten des Verkehrs

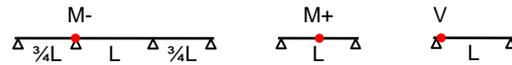
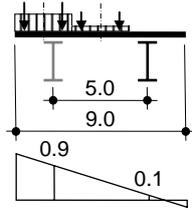


A.6.2 Zweistegige Brücke

Vergleich der Schnittkräfte an verschiedenen, zweistegigen Brücken



Varianten des Verkehrs



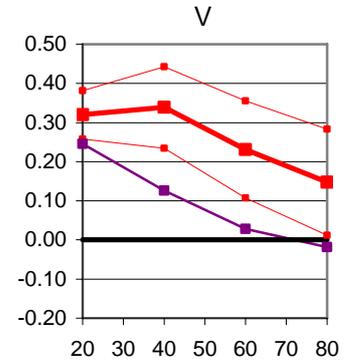
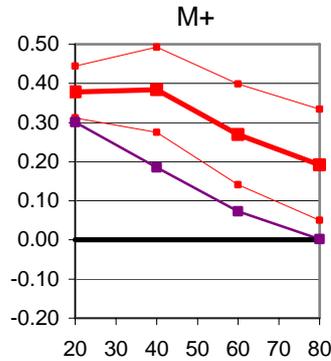
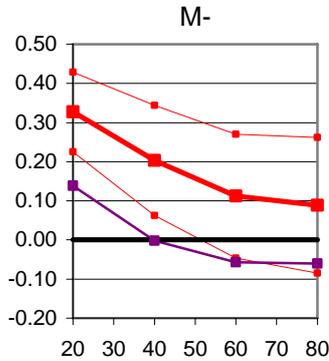
$\alpha_{Q1} = 0.70$; $\alpha_{Q2} = 0.50$
 $\alpha_q = 0.40$

Gegenverkehr



50%-50%

Spannweite [m]



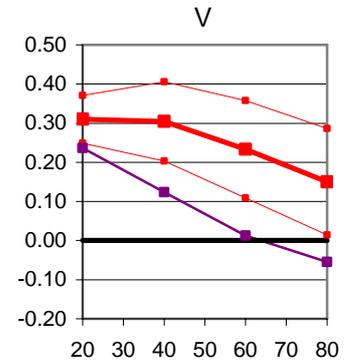
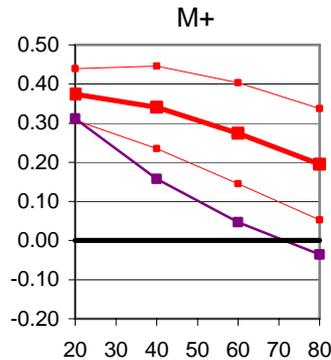
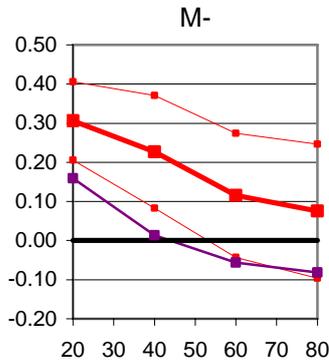
$\alpha_{Q1} = 0.70$; $\alpha_{Q2} = 0.50$
 $\alpha_q = 0.40$

Ohne Gegenverkehr



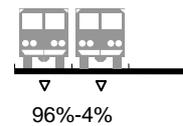
85%-15%

Spannweite [m]



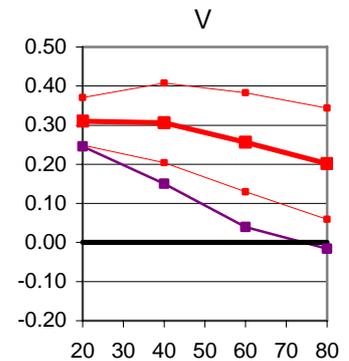
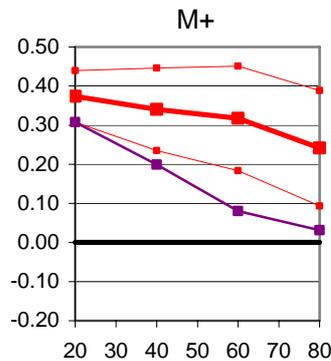
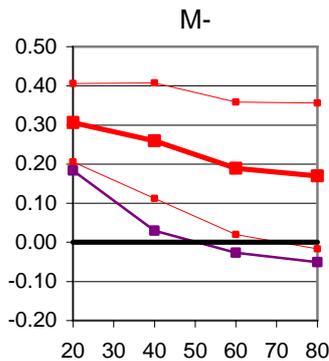
$\alpha_{Q1} = 0.70$; $\alpha_{Q2} = 0.50$
 $\alpha_q = 0.40$

Ohne Gegenverkehr



96%-4%

Spannweite [m]



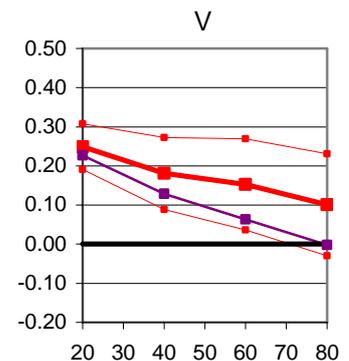
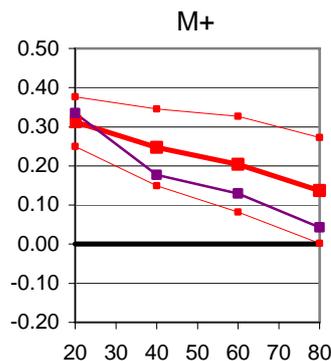
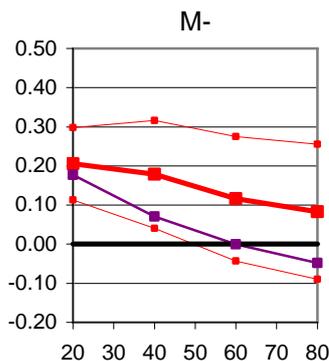
$\alpha_{Q1} = 0.70$; $\alpha_{Q2} = 0.50$
 $\alpha_q = 0.40$

Ohne Gegenverkehr



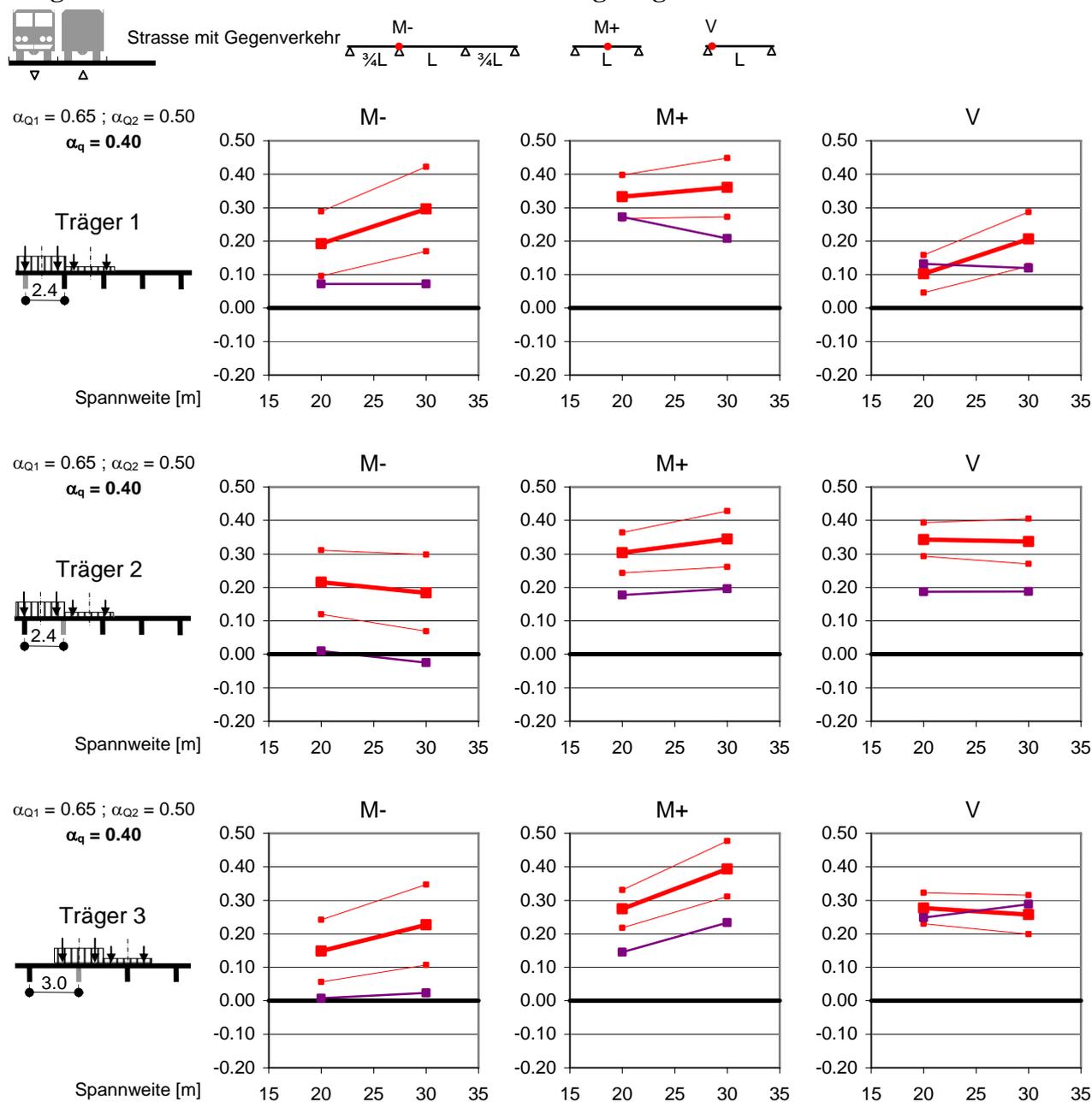
100%-0%

Spannweite [m]



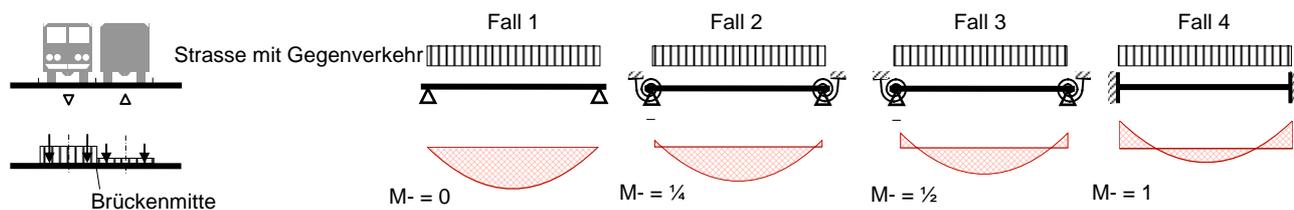
A.6.3 Mehrstegige Brücke

Vergleich der Schnittkräfte an verschiedenen Längsträgern

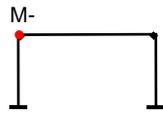


A.6.4 Plattenbrücke

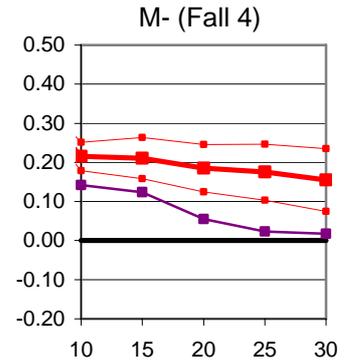
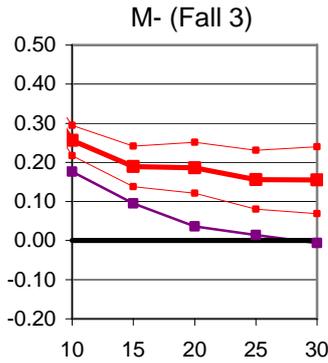
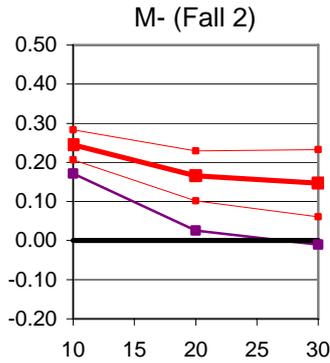
Vergleich der Schnittkräfte mit verschiedenen Auflagerbedingungen



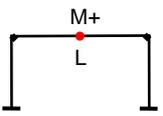
$\alpha_{Q1} = 0.70 ; \alpha_{Q2} = 0.50$
 $\alpha_q = 0.40$



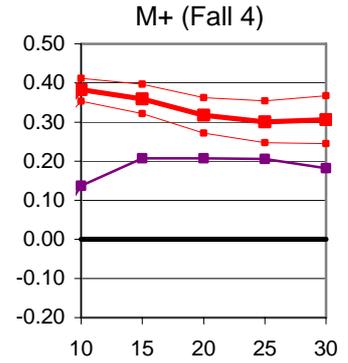
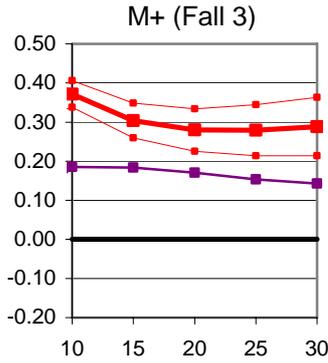
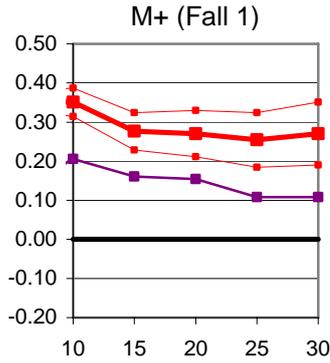
Spannweite [m]



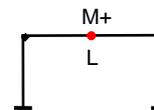
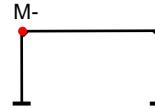
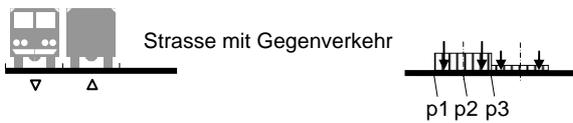
$\alpha_{Q1} = 0.70 ; \alpha_{Q2} = 0.50$
 $\alpha_q = 0.40$



Spannweite [m]



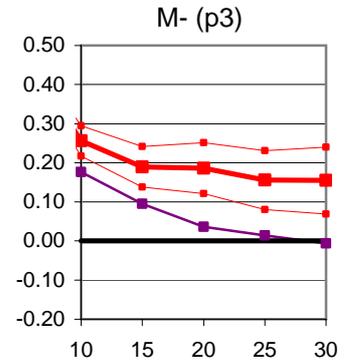
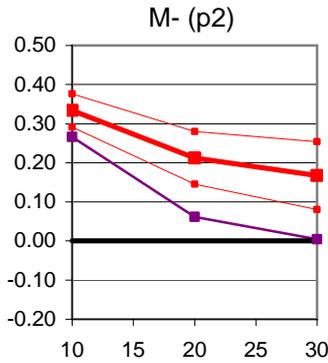
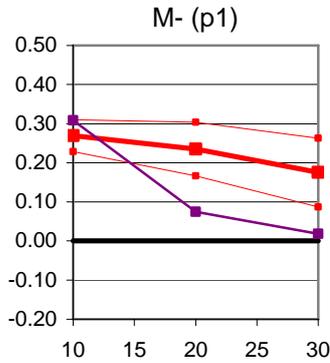
Vergleich der Schnittkräfte an verschiedenen Schnittstellen



$\alpha_{Q1} = 0.70 ; \alpha_{Q2} = 0.50$
 $\alpha_q = 0.40$



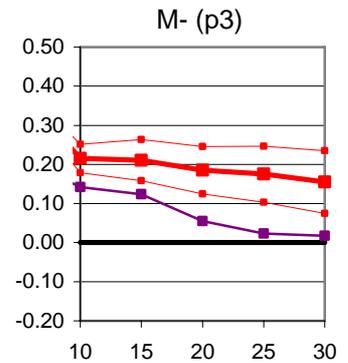
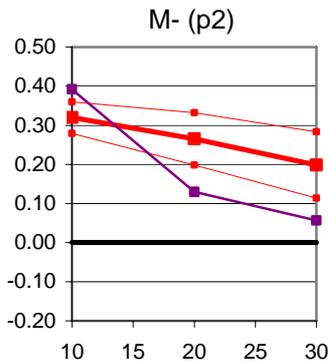
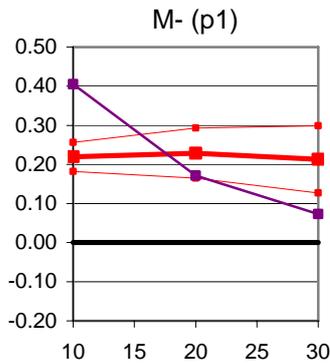
Spannweite [m]



$\alpha_{Q1} = 0.70 ; \alpha_{Q2} = 0.50$
 $\alpha_q = 0.40$



Spannweite [m]

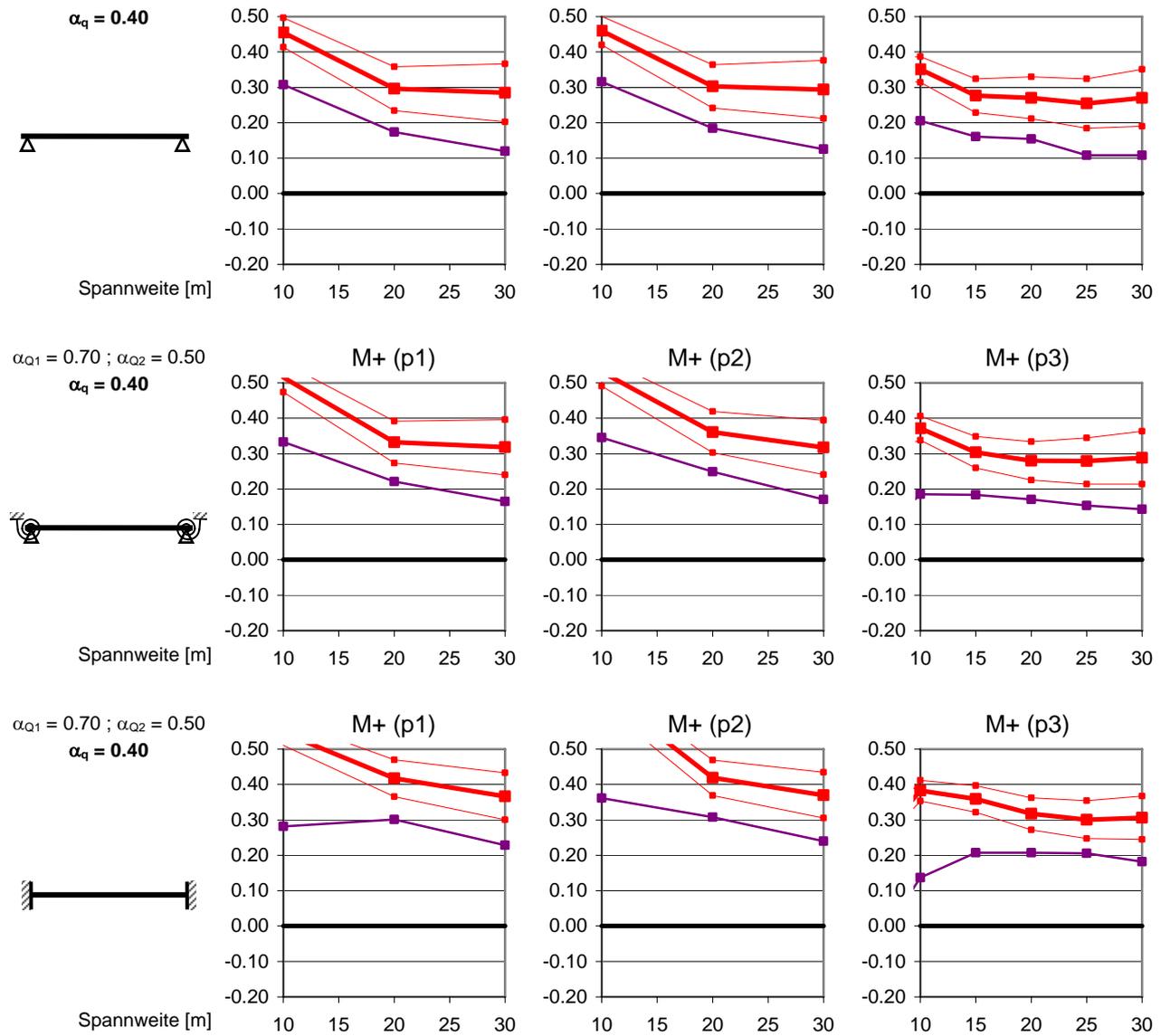


$\alpha_{Q1} = 0.70 ; \alpha_{Q2} = 0.50$

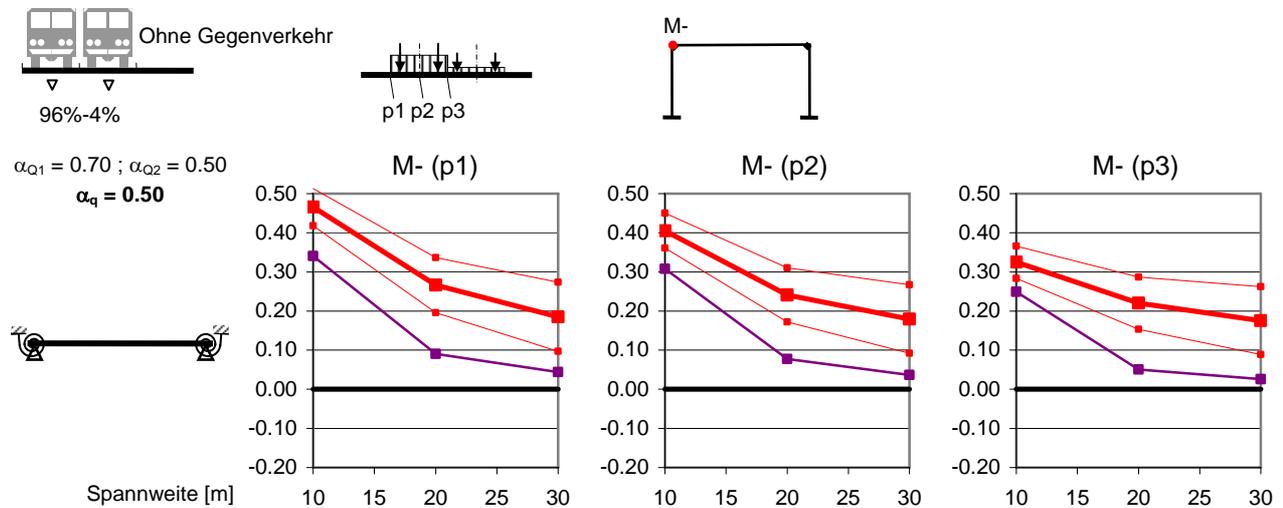
M+ (p1)

M+ (p2)

M+ (p3)



Anderer Verkehr



A.7 DYNAMISCHER BEIWER

In [ASTRA, 2004.1] wurde eine Methode zur Anwendung eines dynamischen Beiwerts vorgeschlagen. Um dessen Auswirkungen zu verifizieren, werden sie mit zwei anderen Näherungen verglichen. Dies sind der dynamischen Beiwert von 1.8 aus der alten Norm SIA 160 (1989) und der aktualisierte, dynamische Beiwert von [Cantieni, 1983].

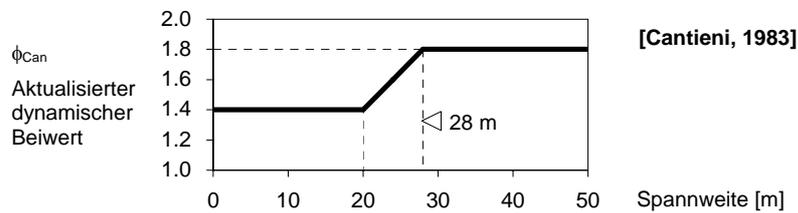
Die Resultate der drei Berechnungen werden im folgenden Abschnitt miteinander verglichen :

1. Berechnung der Schnittkräfte nach der Norm SIA 160 (1989) mit einem dynamischen Beiwert von 1.8 auf die konzentrierten Lasten Q :

$$E_{SIA} = 1.8 \cdot E_Q + E_q$$

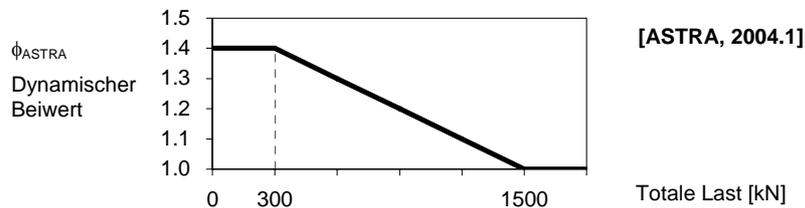
2. Berechnung der Schnittkräfte nach der Norm SIA 160 (1989) mit einem aktualisierten dynamischen Beiwert nach [Cantieni, 1983] auf die konzentrierten Lasten Q :

$$E_{Can} = \phi_{Can} \cdot E_Q + E_q$$



3. Berechnung der Schnittkräfte mit den Lasten nach der Norm SIA 160 (1989), jedoch mit einem dynamischen Beiwert der auf alle Lasten angewendet (Q und q) und nach [ASTRA, 2004.1] in Funktion der totalen Last berechnet wird :

$$E_{ASTRA} = \phi_{ASTRA} \cdot (E_Q + E_q)$$



Als Vergleich soll eine Kastenbrücke mit einer Fahrbahnbreite von 6 m (Bild A.4) berücksichtigt werden.

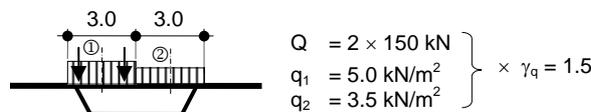


Bild A.4 – Kastenbrücke untersucht mit den Lasten der Norm SIA 160 (1989)

Die Vergleiche werden für verschiedene Schnittkräfte in Abhängigkeit der Hauptspannweite der Brücke in Bild A.5 aufgezeigt. Die folgenden, allgemeinen Beobachtungen können gemacht werden :

- Die Methode [ASTRA, 2004.1] ergibt kleinere Schnittkräfte als die einer Berechnung nach der Norm SIA 160.
- Das Verhältnis E_{ASTRA}/E_{SIA} ist relativ konstant, egal wie gross die Spannweite des Bauwerks ist.
- Für Brücken die kleiner sind als 20 m sind die erhaltenen Schnittkräfte nach der Methode [ASTRA, 2004.1] nahe bei den Schnittkräften, die man bei einer Berechnung nach [Cantieni, 1983] macht (mit reduzierten dynamischen Beiwerten).

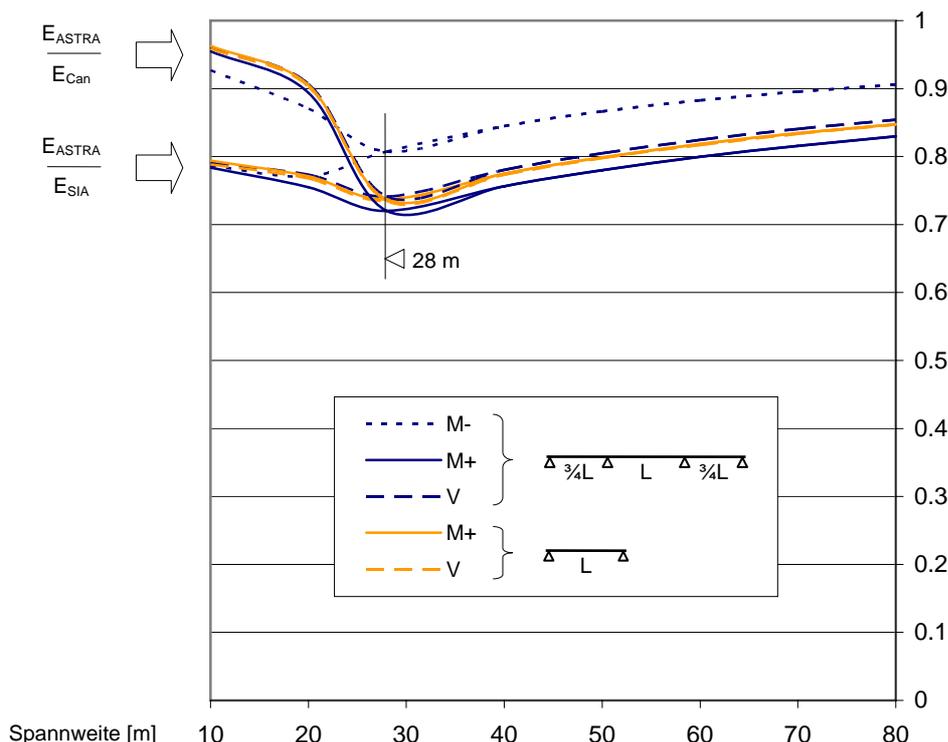


Bild A.5 – Resultate des Vergleichs der Schnittkräfte

Die Norm SIA 160 berücksichtigt eine, mit der Spannweite abnehmende, dynamische Auswirkung, da der dynamische Beiwert nur auf die konzentrierten Lasten angewendet wird. Mit der Methode [ASTRA, 2004.1] nimmt der dynamische Beiwert ebenfalls mit der Spannweite ab, da die totale Last aufgrund der grösseren Spannweite zunimmt. Daraus folgt, dass die Philosophien der beiden Berechnungen einander sehr ähnlich sind, was die Anwendbarkeit der Methode [ASTRA, 2004.1] in dieser Studie rechtfertigt.

Neben dem Bericht [ASTRA, 2004.1] haben weitere internationale Studien gezeigt, dass der dynamische Beiwert mit der Zunahme des totalen Gewichts der Fahrzeuge stark abnimmt.

A.8 VERGLEICH ZWISCHEN DER NORM SIA 160 UND DEM AKTUALISIERTEN MODELL

Die mit dem vorgeschlagenen, aktualisierten Modell berechneten Schnittkräfte werden hier mit den nach der alten Norm SIA 160 berechneten Schnittkräften verglichen. Der Vergleich wird für die Kastenbrücken und die zweistegigen Brücken mit denen in Bild A.6 aufgezeigten Modellen durchgeführt.

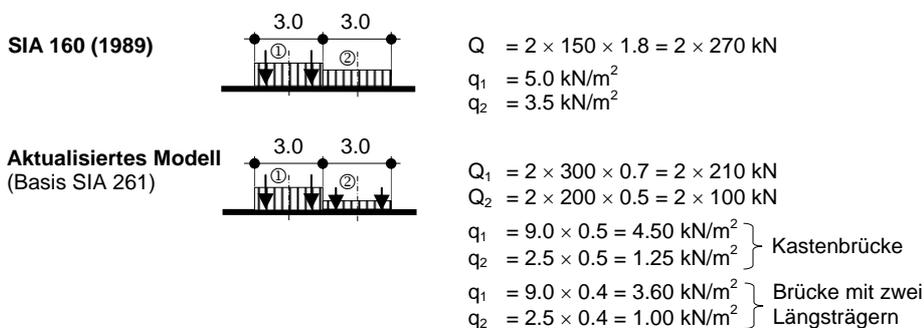


Bild A.6 – Für den Vergleich angesetzte Lasten

Die erhaltenen Resultate sind in Bild A.5 für die verschiedenen Schnittkräfte in Funktion der Hauptspannweite der Brücke dargestellt. Die folgende, allgemeine Beobachtung kann gemacht werden :

- Sowohl für die Kastenbrücke als auch für die zweistufigen Brücke bleiben die mit dem vorgeschlagenen, aktualisierten Modell berechneten Schnittkräfte unter dem Wert der nach der Norm SIA 160 berechneten Schnittkräfte.

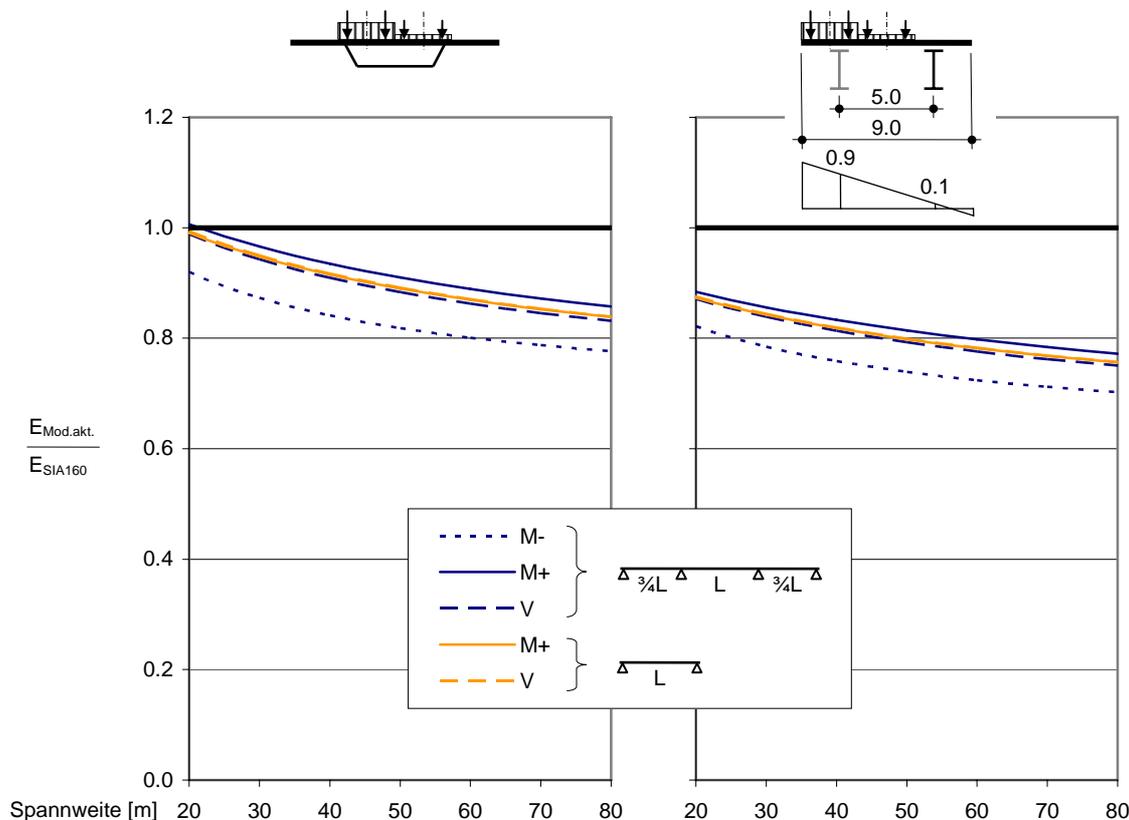


Bild A.7 – Resultate des Vergleichs der Schnittkräfte

Dieser Vergleich zeigt, dass die Bauwerke welche anhand der Norm SIA 160 bemessen wurden, bezüglich des heutigen Verkehrs ein genug hohes Sicherheitsniveau aufweisen. Für kleine Spannweiten ist die Reserve auf die nach der Norm SIA 160 ermittelten Schnittkräfte infolge Verkehrslasten gering, doch mit der Zunahme der Spannweite, steigt auch die Reserve.

A.9 ZULÄSSIGES GESAMTGEWICHT UND AUSNAHMEFAHRZEUGE

Die gesetzlichen Vorschriften bezüglich des Gewichts der Fahrzeuge sind in der Verkehrsregelnverordnung (VRV) vom 13. November 1962 festgehalten [http://www.admin.ch/ch/d/sr/c741_11.html], insbesondere im nachfolgend aufgeführten Artikel 67 :

Art. 67^[1] Gewichte

(Art. 9 Abs. 1, 2 und 4 SVG)^[2]

¹ Das Betriebsgewicht von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen darf höchstens betragen:^[3]

- ^[4] 40,00 t bei Motorfahrzeugen mit mehr als vier Achsen, Anhängerzügen und Sattelmotorfahrzeugen bzw. 44,00 t bei diesen Fahrzeugen im unbegleiteten kombinierten Verkehr;
- ^[5] 32,00 t bei Motorfahrzeugen mit vier Achsen;
- 28,00 t bei dreiachsigen Gelenkbussen;
- 25,00 t bei dreiachsigen Motorfahrzeugen im Normalfall, 26,00 t bei dreiachsigen Motorfahrzeugen, wenn die Antriebsachse mit Doppelbereifung und Luftfederung oder mit einer als gleichwertig anerkannten Federung ausgerüstet ist oder wenn beide

hinteren Antriebsachsen mit Doppelbereifung ausgerüstet sind und die maximale Achslast von 9,50 t je Achse nicht überschritten wird;

- e. 18,00 t bei zweiachsigen Motorfahrzeugen;
- f. 24,00 t bei Anhängern mit drei oder mehr Achsen;
- g. 18,00 t bei zweiachsigen Anhängern oder Doppelachsanhängern;
- h. 10,00 t bei einachsigen Anhängern.

^{1bis} Als unbegleiteter kombinierter Verkehr gilt die Beförderung von Ladebehältern (Container, Wechselaufbau) oder die Überführung eines Sattelanhängers von oder zu einer beliebigen schweizerischen Umladestation der Bahn bzw. von oder zu einem schweizerischen Hafen, ohne dass das Ladegut beim Übergang vom einen zum anderen Verkehrsträger das Transportgefäss wechselt. Das UVEK kann festlegen, welche in Grenznähe liegenden ausländischen Umladestationen den schweizerischen gleichgestellt sind. Der Fahrzeugführer muss im unbegleiteten kombinierten Verkehr ein geeignetes Nachweisdokument (z. B. Frachtbrief der Bahn) mitführen.^[6]

² Die Achslasten dürfen höchstens betragen für:

	in Tonnen
a. Einzelachsen	10,00
b. angetriebene Einzelachsen	11,50
c. Doppelachsen mit einem Achsabstand von weniger als 1,00 m	
1. von Motorfahrzeugen	11,50
2. von Anhängern	11,00
d. Doppelachsen mit einem Achsabstand von 1,00 m bis weniger als 1,30 m	16,00
e. Doppelachsen mit einem Achsabstand von 1,30 m bis weniger als 1,80 m	18,00
f. Doppelachsen mit einem Achsabstand von 1,30 m bis weniger als 1,80 m, wenn die Antriebsachse mit Doppelbereifung und Luftfederung oder einer als gleichwertig anerkannten Federung nach Artikel 57 VTS ausgerüstet ist oder wenn jede Antriebsachse mit Doppelbereifung ausgerüstet ist und dabei die höchstzulässige Achslast von 9,50 t je Achse nicht überschritten wird	19,00
g. Doppelachsen von Anhängern mit einem Achsabstand von 1,80 m oder mehr	20,00
h. Dreifachachsen mit Achsabständen von nicht mehr als 1,30 m	21,00
i. Dreifachachsen mit Achsabständen von mehr als 1,30 m und nicht mehr als 1,40 m	24,00
k. ^[7] Dreifachachsen mit einem Achsabstand von mehr als 1,40 m	27,00

³ Sind im Fahrzeugausweis tiefere als die in den Absätzen 1, 2, 6 und 7 genannten Höchstwerte eingetragen, so dürfen diese nicht überschritten werden.

⁴ Bei Fahrzeugen oder Fahrzeugkombinationen, deren Höchstgeschwindigkeit 40 km/h übersteigen kann, muss das Gewicht auf den Antriebsachsen mindestens 25 Prozent des jeweiligen Betriebsgewichts betragen (minimales Adhäsionsgewicht).^[8]

⁵ Das Betriebsgewicht der Anhänger darf die im Fahrzeugausweis des Zugfahrzeuges eingetragene Anhängelast nicht übersteigen.

⁶ Für Motorfahrzeuge, die vor dem 1. Oktober 1997 erstmals zum Verkehr zugelassen worden sind, beträgt die zulässige Achslast nach Absatz 2 Buchstaben b und c Ziffer 1 12,00 t.

⁷ Für Fahrzeuge, die vor dem 1. Oktober 1997 erstmals zum Verkehr zugelassen worden sind, beträgt die zulässige Achslast nach Absatz 2 Buchstabe f 20,00 t, wenn dabei die höchstzulässige Achslast von 10,00 t je Achse nicht überschritten wird.

⁸ ...^[9]

⁹ Das ASTRA kann Weisungen erlassen über die höchstzulässigen Achsbelastungen und das minimale Adhäsionsgewicht bei Ausnahmefahrzeugen und Ausnahmetransporten.^[10]

^[1] Fassung gemäss Anhang 1 Ziff. II 4 der V vom 19. Juni 1995 über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge, in Kraft seit 1. Okt. 1995 (SR **741.41**).

^[2] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS **2004** 3519).

^[3] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 1. Nov. 2000, in Kraft seit 1. Jan. 2001 (AS **2000** 2882).

^[4] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS **2004** 3519).

^[5] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS **2004** 3519).

^[6] Eingefügt durch Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS **2004** 3519).

^[7] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS **2004** 3519).

^[8] Fassung gemäss Anhang 1 Ziff. I der V vom 2. Sept. 1998 (AS **1998** 2352).

^[9] Aufgehoben durch Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, mit Wirkung seit 1. Jan. 2005 (AS **2004** 3519).

^[10] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS **2004** 3519).

Stand am 13. September 2005

Die Fahrzeuge, welche diesen gesetzlichen Vorschriften nicht entsprechen, werden als Ausnahmefahrzeuge betrachtet. In den Artikeln 78 und 85 der Verkehrsregelnverordnung (VRV) werden Anordnungen über die Ausnahmefahrzeuge und die Ausnahmetransporte festgehalten. Diese Fahrzeuge dürfen nur mit einer schriftlichen Bewilligung verkehren, wie der folgende Artikel 78 es präzisiert :

Art. 78 Bewilligungen

¹ Fahrzeuge, die wegen der Ladung den Vorschriften über Masse und Gewichte nicht entsprechen, sowie Ausnahmefahrzeuge (Art. 25 VTS^[1]) dürfen auf öffentlichen Strassen nur aufgrund einer schriftlichen Bewilligung verkehren.^[2] Einzelbewilligungen werden für eine oder mehrere bestimmte Fahrten und Dauerbewilligungen für beliebig häufige Fahrten erteilt.^[3] Bewilligungen für Übergewicht dürfen nur für Fahrzeuge bzw. Fahrzeugkombinationen erteilt werden, die gemäss Fahrzeugausweis für das gesetzlich zulässige Höchstgewicht zugelassen sind.^[4]

² Für Fahrten, bei denen Höchstbreite, Höchsthöhe oder Höchstgewicht überschritten werden, sind nur Einzelbewilligungen zulässig. Dauerbewilligungen können jedoch erteilt werden für:^[5]

- a.^[6] zusammengehörende Transporte auf derselben Strecke;
- b.^[7] Überführung, Transport und Verwendung von Arbeitsfahrzeugen innerhalb des Kantonsgebietes;
- c.^[8] die Verwendung von Raupenfahrzeugen in Wintersportgebieten; Dauerbewilligungen für Raupenfahrzeuge können mit Zustimmung der betroffenen Kantone auch für Wintersportgebiete, die Teile mehrerer Kantone umfassen, erteilt werden;
- d.^[9] den Transport unteilbarer Güter innerhalb des Kantonsgebietes;
- e.^[10] die Beförderung von beladenen Eisenbahnwagen mit Rollschemeln innerhalb des Kantonsgebietes und mit Zustimmung der betroffenen Kantone auch für ausserkantonale Strecken;
- f.^[11] den Transport unteilbarer Güter und die Verwendung von Ausnahmefahrzeugen im Rahmen der Limiten von Artikel 79 Absatz 2 Buchstabe a.^[12]

^{2bis} Bei Ausnahmefahrzeugen, deren Abmessungen und Gewichte die Limiten nach Artikel 79 Absatz 2 Buchstabe a nicht überschreiten, kann die Dauerbewilligung im Fahrzeugausweis als Verfügung der Behörde eingetragen werden, sofern die Kreisfahrbedingungen nach Artikel 65a eingehalten sind.^[13]

³ Von den Einzelbewilligungen für mehrere Fahrten und von den Dauerbewilligungen ist dem ASTRA und, soweit auf interkantonalen Fahrten die gesetzlichen Masse und Gewichte überschritten werden (Art. 79 Abs. 2), auch den berührten Kantonen eine Kopie zuzustellen.^[14]

⁴ Die Bewilligung kann jederzeit entzogen werden, namentlich wenn sie missbraucht wurde, die Fahrzeuge im Verkehr Schwierigkeiten verursachen oder die bewilligten Fahrten nicht mehr nötig sind.

[1] SR 741.41

[2] Fassung gemäss Anhang 1 Ziff. II 4 der V vom 19. Juni 1995 über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge, in Kraft seit 1. Okt. 1995 (SR 741.41).

[3] Zweiter Satz eingefügt durch Ziff. I der V vom 15. Nov. 2000, in Kraft seit 1. Jan. 2001 (AS 2000 2883).

[4] Dritter Satz eingefügt durch Ziff. I der V vom 3. Juli 2002, in Kraft seit 1. April 2003 (AS 2002 3212).

[5] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS 2004 3519).

[6] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 15. Nov. 2000, in Kraft seit 1. Jan. 2001 (AS 2000 2883).

[7] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 15. Nov. 2000, in Kraft seit 1. Jan. 2001 (AS 2000 2883).

[8] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS 2004 3519).

[9] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 15. Nov. 2000, in Kraft seit 1. Jan. 2001 (AS 2000 2883).

[10] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS 2004 3519).

[11] Eingefügt durch Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS 2004 3519).

[12] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 15. Nov. 2000, in Kraft seit 1. Jan. 2001 (AS 2000 2883).

[13] Eingefügt durch Ziff. I der V vom 15. Nov. 2000 (AS 2000 2883). Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS 2004 3519).

[14] Fassung gemäss Ziff. I der V vom 7. März 1994 (AS 1994 816).

Stand am 13. September 2005

Die Zuständigkeiten, diese Bewilligungen auszustellen, werden in der Verkehrsregelnverordnung (VRV) geregelt und sind im Artikel 79 festgehalten :

Art. 79 Zuständigkeit

¹ Der Standortkanton oder der Kanton, in dem die bewilligungspflichtige Fahrt beginnt, erteilt die Bewilligung mit Gültigkeit für die ganze Schweiz. Die Zuständigkeit des Standortkantons entfällt, wenn sein Gebiet nicht berührt wird.^[1]

² Werden die gesetzlichen Masse und Gewichte überschritten, so kann die Bewilligung für ausserkantonale Strecken nur unter folgenden Voraussetzungen erteilt werden:

- a.^[2] Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen dürfen höchstens 30 m lang, 3 m breit und 4 m hoch sein sowie höchstens 44 t Betriebsgewicht aufweisen; die Achsbelastung darf je Achse 12 t nicht übersteigen;
- b. es dürfen nur Durchgangsstrassen nach den Anhängen 1 und 2 Buchstaben A und B der Durchgangsstrassenverordnung vom 18. Dezember 1991^[3] und von solchen Strassen berührte Ortschaften benützt werden.^[4]

³ Bei Einzelbewilligungen kann das Betriebsgewicht nach Absatz 2 Buchstabe a bis 50 t betragen, wenn der Transit durch die von der ausserkantonalen Fahrstrecke berührten Kantone ausschliesslich auf der Autobahn erfolgt.^[5]

⁴ Das ASTRA erteilt Bewilligungen für Fahrzeuge im Dienste des Bundes und für Import- und grenzüberschreitende Transitarbeiten, nötigenfalls nach Anhörung der Kantone.^[6]

¹ Fassung gemäss Ziff. I der V vom 7. März 1994 (AS 1994 816).

² Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS 2004 3519).

³ SR 741.272

⁴ Fassung gemäss Ziff. I der V vom 7. März 1994 (AS 1994 816).

⁵ Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS 2004 3519).

⁶ Eingefügt durch Ziff. I der V vom 1. Juli 1992 (AS 1993 1142). Aufgehoben durch Ziff. I der V vom 15. Juni 2001 (AS 2002 1180). Fassung gemäss Ziff. I der V vom 30. Juni 2004, in Kraft seit 1. Jan. 2005 (AS 2004 3519).

Stand am 13. September 2005

A.10 PNEUKRANE BIS 96 TONNEN

A.10.1 Einleitung

Der Inhalt dieser Einleitung stützt sich auf einen elektronischen Brief welchen das ICOM am 28. November 2005 von Herrn A. Blaser vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) erhalten hat.

Pneukrane, die den gesetzlichen Vorschriften über Masse und Gewichte (Art.64 - 67 VRV) nicht entsprechen gelten als Ausnahmefahrzeuge und dürfen auf öffentlichen Strassen nur aufgrund einer schriftlichen Bewilligung verkehren. Für Fahrten innerhalb des Kantonsgebietes kann unabhängig der beanspruchten Ausnahmen eine Dauerbewilligung erteilt werden.

Für ausserkantonale Strecken kann die Bewilligung nur unter dem Einhalten der Voraussetzungen des Artikels 79, Absatz 2, Buchstaben a und b der VRV erteilt werden (Siehe Anhang A.9). Sind die vorerwähnten Masse und Gewichte überschritten, muss bei jedem von der Fahrt berührten Kanton eine Bewilligung beantragt werden (Beispiel: für eine Fahrt von Genf nach Aarau müssen die Kantone GE, VD, FR, BE, SO und AG angefragt werden). Jeder Kanton schreibt in Abhängigkeit der beanspruchten Ausnahmen die genaue Fahrstrecke und die einzuhaltenden Auflagen auf seinem Kantonsgebiet vor. Namentlich bei Gesamtgewichten von 80 t und mehr werden von den für die Erteilung der Bewilligungen zuständigen Strassenverkehrsämtern die Fahrstrecken in Absprache mit den Tiefbauämtern vorgeschrieben.

Gemäss unseren Erhebungen stehen zurzeit in 13 Kantonen total 27 Pneukrane mit einem Gesamtgewicht von mehr als 60 t (bis 96 t) in Verkehr, die schweizweit eingesetzt werden.

Für die Überprüfung der Brücken auf den Hauptachsen, welche für die Durchfahrt von Pneukranen von mehr als 60 Tonnen vorgesehen sind, ist das aktualisierte, in diesem Bericht vorgeschlagene Lastmodell nicht gültig. Um diese Lücke zu füllen, wurden zusätzliche Verkehrssimulationen durchgeführt. Die Annahmen, die Resultate wie auch das aktualisierte Lastmodell werden nachfolgend aufgeführt.

A.10.2 Annahmen

Mit einem zusätzlichen Prozentsatz an 96 Tonnen schweren Pneukranen bei der Verkehrsmodellierung wurden neue Simulationen durchgeführt. Folgendes sind die wichtigsten Annahmen :

- Der Prozentsatz an Pneukranen im Verkehr wurde zu 0.005% angenommen, was 167 Durchfahrten von Pneukranen pro Jahr auf den Strassen mit Gegenverkehr (ungefähr drei pro Woche) und 333 Durchfahrten von Pneukranen pro Jahr und Richtung auf den Autobahnen entspricht (ungefähr einer pro Tag).
- Die Pneukrane zirkulieren nur auf einem Fahrstreifen, das Kreuzen oder Überholen zweier Pneukranen wird also nicht berücksichtigt.
- Die Geometrie der Pneukrane wird in Bild A.8 beschrieben.
- Für das totale Gewicht werden 96 Tonnen mit einem Lastfaktor von $\gamma_Q = 1.1$ angenommen, denn die Ladung ist im Allgemeinen ziemlich konstant.
- Die Last wird gleichmässig auf die 8 Achsen aufgeteilt, was einer Achslast von 12 t entspricht.
- Der dynamische Beiwert wird während der Simulation in Abhängigkeit des totalen Gewichts des Verkehrs auf das Bauwerk, nach der im Abschnitt 3.1 erklärten Methode [ASTRA, 2004.1], berechnet.

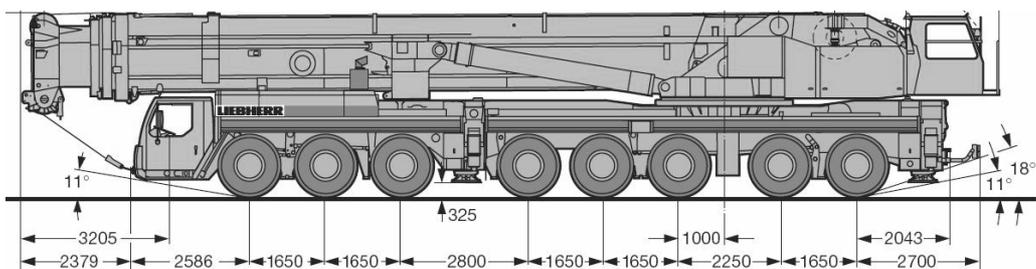


Bild A.8 – 96 Tonnen Pneukran

A.10.3 Resultate

Das Bild A.9 zeigt das Verhältnis zwischen den simulierten und den nach der Norm SIA 261 berechneten Schnittkräfte für Strassen mit Gegenverkehr, für Kastenbrücken und für die folgenden drei Schnittgrößen :

- Biegemoment M- über dem Auflager bei einem Durchlaufträger
- Biegemoment M+ im Mittelfeld bei einem einfachen Balken
- Schubbeanspruchung V bei einem einfachen Balken

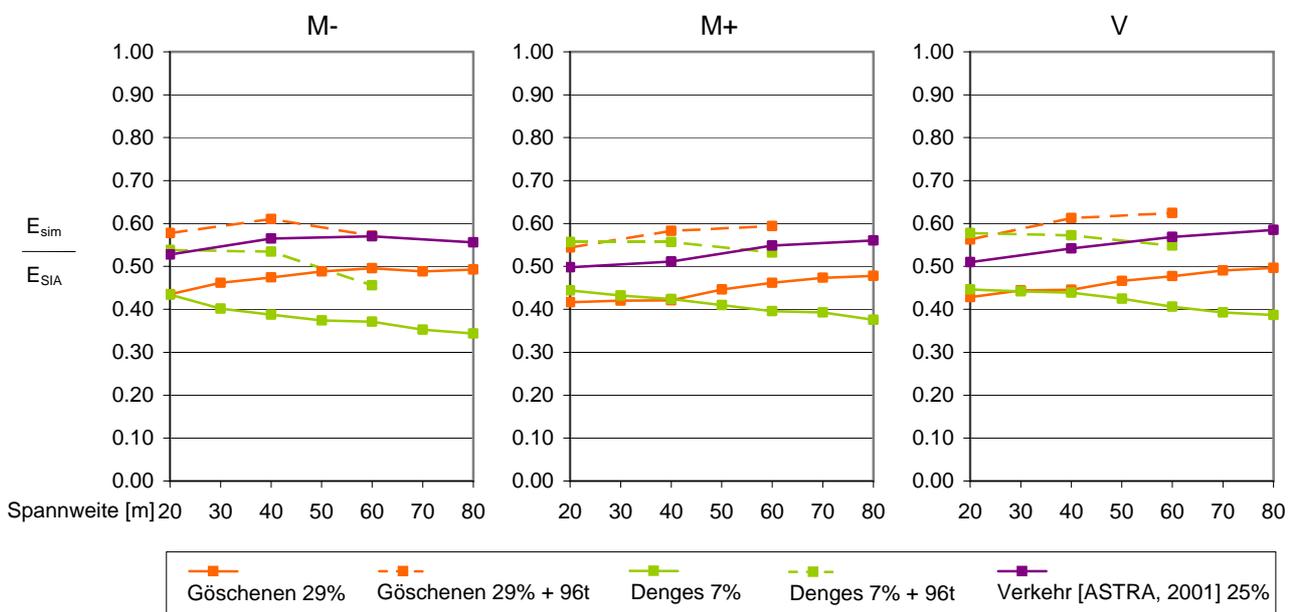


Bild A.9 – Vergleich der Schnittkräfte : Kastenbrücken, Strasse mit Gegenverkehr, 96 t schwere Pneukrane

Das Bild A.10 zeigt die gleichen Resultate für die zweistegigen Brücken und Strassen ohne Gegenverkehr.

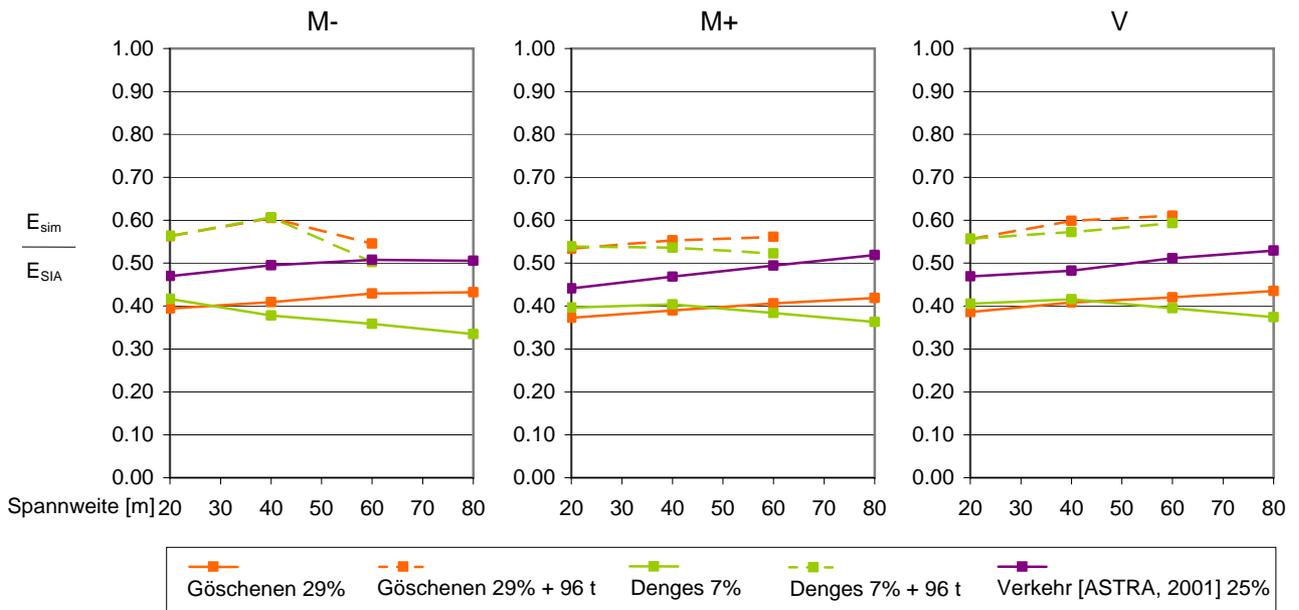


Bild A.10 – Vergleich der Schnittkräfte: zweistegigen Brücken, zweispurige Autobahn, 96 t schwere Pneukrane

Man stellt fest, dass der Verkehr, welcher 96 Tonnen schwere Pneukrane enthält, deutlich massgebender ist als der gesamte vorher simulierte Verkehr, der auf den Daten der Wägestationen beruht. Die Schnittkräfte bleiben jedoch nach wie vor kleiner als die mit dem Modell 1 der Norm SIA 261 (2003) berechneten.

A.10.4 Aktualisiertes Lastmodell

Die aktualisierten α -Beiwerte, welche im Kapitel 6 vorgeschlagen wurden, sind für einen Verkehr mit 96 Tonnen schweren Pneukranen nicht gültig. Deshalb wird für die Überprüfung bestehender Strassenbrücken, die auf einer Hauptachse liegen, wo 96 Tonnen schwere Pneukrane kursieren dürfen, die Anwendung der aktualisierten α -Beiwerte aus der Tabelle A.3 vorgeschlagen.

Tabelle A.3 – Aktualisierte α -Beiwerte für die Untersuchung von Brücken mit 96 Tonnen schweren Pneukranen.

Brücke	Querschnitt	Spannweiten	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{qi}, α_{qr}
Balken	Kasten	20-80 m	0.70	0.50	0.70
	Zweistegig	20-80 m			
	Mehrstegig	15-35 m			
Platte		8-30 m			

A.10.5 Vergleich mit dem Modell 3 Typ III der Norm SIA 261/1 (2003)

Die ergänzenden Festlegungen SIA 261/1 (2003) schlagen im Abschnitt 10 ein Lastmodell vor, um die Ausnahmetransporte zu berücksichtigen. Das Modell, welches am Besten mit Pneukranen korrespondiert, die mit dem normalen Verkehr zirkulieren, ist das Modell der Ausnahmetransporte Typ III. Dieses Modell beinhaltet eine totale Last von 900 kN, welche auf zwei Normalfahrstrecken mit vier Achsen aufgeteilt wird, wobei jede mit einer verteilten Last über die gesamte Fahrbahn von 2.5 kN/m² kombiniert wird. Diese Lasten müssen an der ungünstigsten Stelle angesetzt werden.

Dieses Lastmodell wurde mit dem aktualisierten Lastmodell verglichen, welches für Strassen, auf denen 96 Tonnen schwere Pneuکرane zugelassen sind, vorgeschlagen wurde. Die Resultate sind in Bild A.11 dargestellt.

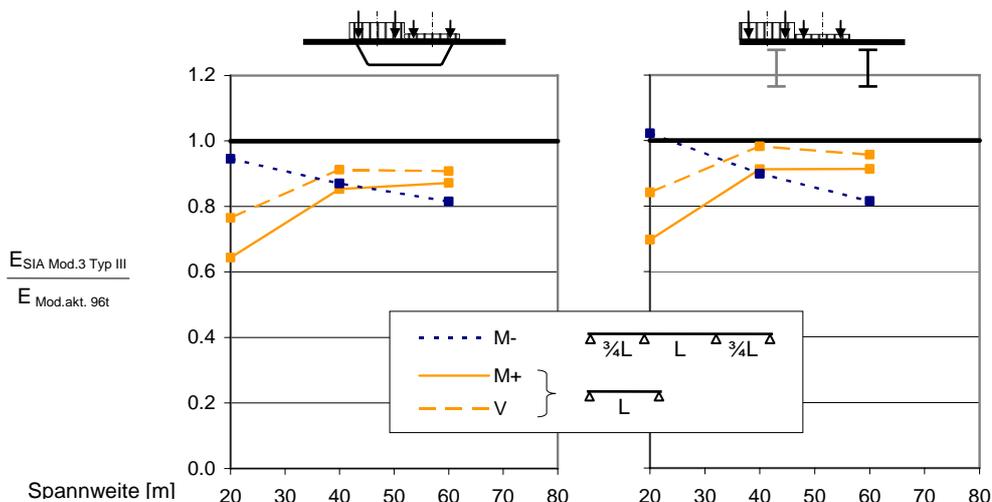


Bild A.11 – Vergleich der Schnittkräfte zwischen dem aktualisierten Modell und dem Modell 3, Typ III des SIA Norm 261/1.

Man stellt fest, dass das Modell 3, Typ III der ergänzenden Festlegungen SIA 261/1 leicht geringere Schnittkräfte ermittelt, als die, welche man mit dem aktualisierten Modell aus der Tabelle A.3 erhalten hat.

A.10.6 Margen des aktualisierten Lastmodells

Die Margen zwischen den aus den Simulationen erhaltenen Schnittkräfte und den nach dem aktualisierten, vorgeschlagenen Modell für 96 Tonnen Pneuکرane berechneten Schnittkräfte, werden in den Bildern A.12 und A.13 aufgezeigt (für die Legenden der Kurven siehe Anhang A.6).

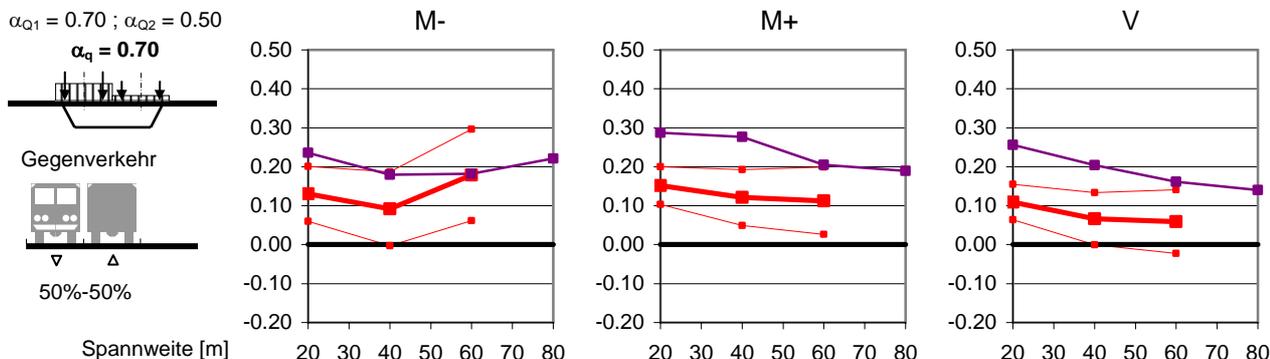


Bild A.12 – Margen : Kastenbrücke, Strasse mit Gegenverkehr

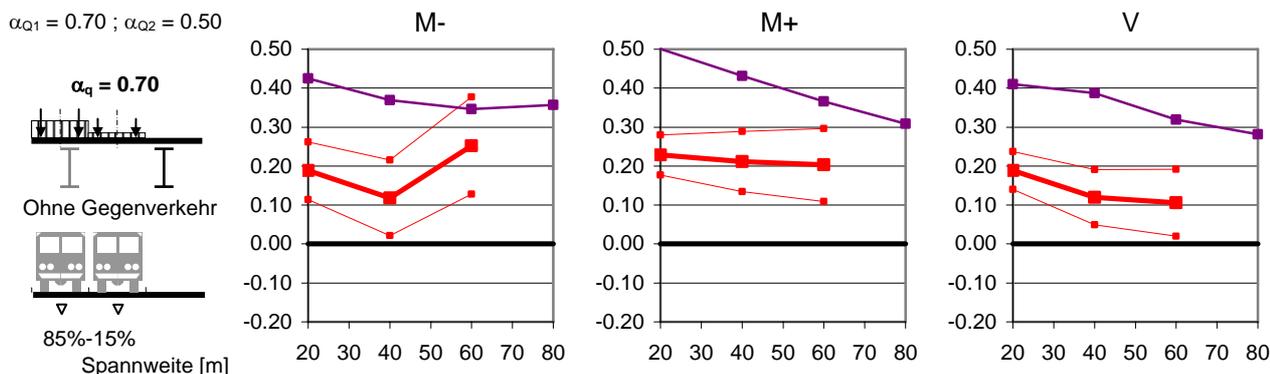


Bild A.13 – Margen : zweistegige Brücke, Autobahn