

# Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen: Ein neuer Ansatz zur Berücksichtigung der maßgeblichen Verkehrsbelastung

**Verfasser:**

Bettina Marchart  
BSc

Masterarbeit für das Fachgebiet  
VERKEHRSWESEN

**Betreuung:**

Ronald Blab  
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.

Lukas Eberhardsteiner  
Univ. Ass. Dipl.-Ing.



The logo of the Institute for Transport (Ve) features a stylized 'V' and 'e' in a bold, sans-serif font. The 'V' is white with a black outline, and the 'e' is solid black. A horizontal line is positioned below the letters.  
Institut für Verkehrswesen  
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur  
Universität für Bodenkultur Wien

DIPLOMARBEIT  
MASTER'S THESIS

**Rechnerische Dimensionierung  
von Asphaltstraßen:  
Ein neuer Ansatz zur Berücksichtigung der  
maßgeblichen Verkehrsbelastung**

**Mechanistic design method  
for asphalt pavements:  
A new approach to consider significant traffic  
loads**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen  
Grades einer Diplom-Ingenieurin

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **Ronald Blab**  
Institut für Verkehrswissenschaften  
Fakultät für Bauingenieurwesen  
Technische Universität Wien

eingereicht an der Universität für Bodenkultur Wien

von

**Bettina Marchart**

Matr.Nr.: 0840831  
Spratzerne Hauptstraße 62  
A - 3100 Sankt Pölten

Wien, im Oktober 2013



## Danksagung

Zu aller erst möchte ich meinem Betreuer DI Lukas Eberhardsteiner danken, der mich immer mit großer Tatkraft und Kompetenz unterstützt hat. Ich hätte mir keinen besseren Betreuer wünschen können. Dasselbe gilt für Prof. Ronald Blab, dessen engagierte Betreuung ich niemals als selbstverständlich angesehen habe und dessen wissenschaftliche Beratung ich sehr geschätzt habe.

Ich möchte mich vor allem auch bei den Mitarbeitern des Instituts für Verkehrswissenschaften an der TU Wien bedanken, die mir meine Zeit am Institut sehr angenehm gestaltet haben und die mir öfters mit Rat und Tat zur Seite standen.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich Freiheit und Eigenverantwortung lehrten und mich bei all meinen Entscheidungen stets unterstützten.

Zuletzt möchte ich meinem Freund Gerold Aschinger danken, der mich immer wieder ermutigte und mir die Faszination von Technik und Naturwissenschaften zeigte.

„We are at the very beginning of time for the human race. It is not unreasonable that we grapple with problems. But there are tens of thousands of years in the future. Our responsibility is to do what we can, learn what we can, improve the solutions, and pass them on.“

*Richard P. Feynman*  
*„What Do You Care What Other People Think?“: Further Adventures of a Curious Character, W. W. Norton & Company, 1988*

## Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Oberbaudimensionierung von Asphaltstraßen im höherrangigen ASFiNAG-Netz in Österreich. Ziel ist eine Implementierung der tatsächlichen Verkehrsbelastung in die Schadensmodelle zur Abschätzung der technischen Lebensdauer einer Straße mit bituminösem Oberbau. In der aktuellen österreichischen Richtlinie zur Bemessung des Oberbaus, RVS 03.08.63 [38], wird die Verkehrsbelastung über Normlastwechsel und Achslastäquivalenzfaktoren berücksichtigt. Im Laufe der Jahre ist es zu einer Änderung des Schwerlastverkehrs, bezüglich der Fahrzeugtypen und Achslasten gekommen. Es ist daher anzunehmen, dass das in der RVS 03.08.63 [38] verwendete Verkehrskollektiv überholt ist. In dieser Arbeit wird ein Schadensmodell erarbeitet, in das Gesamtgewichtsverteilungen, Achslastverteilungen, Achsabstände, sowie vom Klima abhängige Materialkennwerte einfließen und das es dem Anwender erlaubt unter hohem Detaillierungsgrad die aktuelle Verkehrsbelastung in der Oberbaudimensionierung von bituminösen Straßen zu berücksichtigen.

Angeregt wurde die Diplomarbeit durch das Projekt OBESTO-Implementierung des GVO- und LCCA-Ansatzes in die österreichische Bemessungsmethode für Straßenoberbauten, das im Rahmen der FFG-Initiative „Verkehrsinfrastrukturforschung 2011“ derzeit am Forschungsbereich Straßenwesen des Instituts für Verkehrswissenschaften an der Technischen Universität Wien durchgeführt wird. Ziel des Projektes OBESTO ist eine Überarbeitung der österreichischen Bemessungsmethode zur rechnerischen Dimensionierung des Straßenoberbaus.

## Abstract

This master thesis studies the pavement design method of asphalt roads in the major Austrian ASFiNAG road system. The overall purpose of this thesis is the implementation of actual traffic loads in models predicting the fatigue and therefore the technical life expectancy of bituminous pavements. The current pavement design standard, RVS 03.08.63 [38], accounts for traffic loads using standardised axle load cycles and axle load equivalence factors. There has been a continuing change of heavy traffic loads over past years, which has an impact on vehicle types and axle loads. Hence, there is good reason to believe that the traffic load data underlying the pavement design standard, RVS 03.08.63 [38], is out-dated. Using gross vehicle weight distribution, axle load distribution, axle distance data and climate related material properties, the asphalt fatigue caused by different vehicle types and traffic loads is calculated and a model to consider actual traffic loads in the pavement design method is developed. This will allow pavement design engineers to utilise up-to-date traffic data for bituminous pavement design and thereby increase the level of detail in design.

This master thesis is motivated by the project OBESTO-Implementation of the GVO- and LCCA-approach in the Austrian pavement design method, which is part of the FFG-initiative "Traffic Infrastructure Research 2011". The main aim of this project, which is carried out by the Research Center for Road and Airfield Engineering at the Institute of Transportation, University of Technology Vienna, is the revision of the Austrian pavement design method.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabenstellung . . . . .	1
1.2	Geschichte der Oberbaubemessung . . . . .	2
1.2.1	Historischer Überblick . . . . .	2
1.2.2	AASHO-Road-Test . . . . .	2
1.2.3	RVS 3.63 (1986) . . . . .	2
1.2.4	RVS 03.63 (1998) . . . . .	6
1.2.5	RVS 03.08.63 (2008) . . . . .	7
1.3	Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen in Österreich . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Einflussfaktoren der Oberbaudimensionierung</b>	<b>15</b>
2.1	Identifikation von Einflussfaktoren . . . . .	15
2.2	Reifentyp . . . . .	15
2.3	Reifeninnendruck . . . . .	16
2.4	Federung . . . . .	17
2.5	Achsabstand . . . . .	18
2.6	Verteilung der Achslasten . . . . .	18
2.7	Klima . . . . .	19
2.8	Struktur . . . . .	19
2.9	Planungszeitraum und Verkehrszuwachs . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Datengrundlage</b>	<b>22</b>
3.1	Allgemeines . . . . .	22
3.2	Gesetzliche Grundlagen und Begriffsbestimmungen . . . . .	22
3.3	Straßenverkehrszählung in Österreich . . . . .	25
3.3.1	Automatische und händische Straßenverkehrszählung im A-, S- und B-Netz . . . . .	25
3.3.2	Mautdaten . . . . .	27
3.3.3	Bridge-Weigh-in-Motion-Messungen . . . . .	28
3.4	Datenauswertung . . . . .	31
3.4.1	Fahrzeuggruppeneinteilung . . . . .	31
3.4.2	Fahrzeugklasseneinteilung . . . . .	31
3.4.3	Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeugklassen . . . . .	33
3.4.4	Achslastverteilung der Fahrzeugklassen . . . . .	34



---

<b>4</b>	<b>Untersuchungen zur Schädigungswirkung der maßgeblichen Verkehrsbelastung</b>	<b>39</b>
4.1	Ableitung von Schadensfunktionen . . . . .	39
4.2	Parameterstudie zu den Eingangsgrößen . . . . .	42
4.3	Schadensfunktionen für Achsaggregate . . . . .	49
4.4	Mittlere Schädigung & Äquivalenzfaktoren der Fahrzeugklassen . . . . .	50
4.5	Untersuchung zur Schädigung von Fahrzeuggruppen und -kollektiven . . . . .	54
<b>5</b>	<b>Verbesserte Berücksichtigung der maßgeblichen Verkehrsbelastung</b>	<b>61</b>
5.1	Repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für das A- und S-Netz . . . . .	61
5.2	Repräsentative Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeugklassen . . . . .	62
5.3	Repräsentative Achslastverteilung der Fahrzeugklassen . . . . .	62
5.4	Überblick über neue Ansätze . . . . .	64
<b>6</b>	<b>Auswirkungen auf das Bemessungsergebnis</b>	<b>66</b>
6.1	Vergleich Kollektiv aus RVS 03.08.63 mit repräsentativem Schwerverkehrskollektiv . . . . .	66
6.2	Interpretation . . . . .	70
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>72</b>

# 1 | Einführung

## 1.1 Aufgabenstellung

Die Straßenoberbaudimensionierung in Österreich wird laufend weiterentwickelt, wobei versucht wird die Realität möglichst genau durch Modelle zu erfassen. Der im großen Rahmen Ende der 1950er-Jahre durchgeführte AASHO-Road-Test trug wesentlich dazu bei das Schadensverhalten von flexiblen Befestigungen besser verstehen zu können. Seit den 1950er-Jahren gab es jedoch wesentliche Veränderungen im Straßenbau und der Test hat dadurch an Aktualität eingebüßt. Aus diesem Grund werden allgemein gültige Modelle bevorzugt, die an veränderte Rahmenbedingungen angepasst werden können. In der aktuellen österreichischen Richtlinie zur Oberbaudimensionierung, RVS 03.08.63 [38], wird zur Abschätzung der Schädigung von bituminösen Befestigungen das Primärwirkungsmodell von BURMISTER [13] verwendet um Spannungen und Dehnungen an der Unterseite der bituminösen Schicht zu modellieren. Diese werden mit empirischen Ermüdungsgleichungen kombiniert, um somit eine technische Lebensdauer errechnen zu können. Derzeit fließt die tatsächliche Verkehrsbelastung nur über sogenannte Normlastwechsel in die Bemessung ein. Fahrzeugtypen, die teilweise sehr unterschiedliche Aggressivität in Bezug auf ihr Schädigungsverhalten aufweisen, werden zu einer Gruppe mit gleichem Schädigungsverhalten zusammengefasst. Das bedeutet, jeder Gruppe wird ein Äquivalenzfaktor zugeordnet, der dazu dient die Verkehrsbelastung der Fahrzeuge, die in diese Gruppe fallen in äquivalente Normlastwechsel umzurechnen. Gegenstand dieser Diplomarbeit ist die Erzielung eines höheren Detaillierungsgrades in der Erfassung der tatsächlichen Schädigung durch die Verkehrsbelastung. Hierfür werden Achslastwägungen [34], die an drei Stellen im AS-FiNAG Netz durchgeführt wurden, ausgewertet. Anhand dieser Daten können bestimmte repräsentative Fahrzeugtypen ausgewählt werden, die aufgrund von Geometrie, Gesamtgewichtsverteilung, Achslastverteilung und Auftrittshäufigkeit das gesamte Schwerverkehrskollektiv abbilden können. In Kombination mit aktuellen Mautdaten kann dadurch eine Bemessungsmethodik entwickelt werden, die es dem Anwender erlaubt einen größtmöglichen Detaillierungsgrad in der Oberbaudimensionierung zu erzielen.

## 1.2 Geschichte der Oberbaubemessung

### 1.2.1 Historischer Überblick

Um einen Überblick über die Oberbaubemessung in Österreich zu erhalten, wird in den nachfolgenden Kapitel kurz auf wichtige Eckpfeiler in der Geschichte der Oberbaubemessung in Österreich, sowie auf wichtige internationale Entwicklungen in diesem Bereich, eingegangen. Es gilt zu bemerken, dass sich die vorliegende Arbeit ausschließlich mit der Oberbaudimensionierung von bituminösen Bauweisen beschäftigt. Diesem Umstand Rechnung tragend wird in diesem Kapitel ebenso nur auf die Geschichte der bituminösen Oberbaudimensionierung eingegangen.

### 1.2.2 AASHO-Road-Test

Der AASHO-Road-Test bildet ein äußerst wichtiges Kapitel in der Straßenbautechnik, da er in sehr großem Maßstab durchgeführt wurde und ihm international viel Aufmerksamkeit zuteil wurde. Bis heute wird noch oft auf die damals erzielten Resultate verwiesen.

Der AASHO-Road-Test wurde von 1958 bis 1960 nahe Ottawa, Illinois in den USA von der „American Association of State Highway and Transportation Officials“ durchgeführt HUANG [18]. Ziel dieses Tests war es einen Zusammenhang zwischen Achslasten und deren Schädigungen auf verschiedenen Straßenoberbauten zu finden. Für den Test wurden mehrere Ringfahrbahnen mit unterschiedlichem Fahrbahnoberbau hergestellt und deren Schädigung nach verschiedenen Achslastübergängen gemessen.

Die genaue Durchführung dieses Tests wird u. a. in MOLZER et al. [30] erläutert. Demzufolge wurde die Schädigung durch den sogenannten Befahrbarkeitswert (present serviceability index - PSI) beschrieben. Dieser ergibt sich aus Korrelationsrechnungen zwischen objektiven und subjektiven Parametern. Als objektive Messdaten sind die Längsneigung, die Spurrinntiefe und der Rissstellenanteil zu verstehen und als subjektive Daten, verschiedene den Komfort der Fahrzeuglenker betreffende Parameter. Dieser Befahrbarkeitswert wurde in Abhängigkeit der veränderlichen Faktoren, Achslast, Anzahl der Achsübergänge, Achskonfiguration und Fahrbahnoberbau dargestellt [30]. Weitere Überlegungen und Berechnungen führten zur Ableitung von Achslastäquivalenzfaktoren, aus welchen das sogenannte „4. Potenzgesetz“ abgeleitet werden konnte. Dieses Gesetz fand unter anderem in der RVS 3.63(1986) Anwendung und ist im folgenden Kapitel 1.2.3 in Gleichung 1.2 für die Einzelachse und in Gleichung 1.3 für die Tandemachse ersichtlich.

### 1.2.3 RVS 3.63 (1986)

Die RVS 3.63 aus dem Jahre 1986 beruht auf dem Ansatz, die vorhandenen Lastwechsel in sogenannte Normlastwechsel umzurechnen [30]. Somit können unterschiedliche Straßenbelastungen in ein einheitliches Wertesystem übergeführt werden, das Vergleiche möglich

macht. Ein Normlastwechsel entspricht dem Übergang einer Normachslast von 100 kN [30]. Den endgültigen Wert der Bemessungsnormlastwechsel erhält man unter Berücksichtigung der zusätzlichen Faktoren  $R$  (Richtungsfaktor des Verkehrs auf einer Straße),  $V$  (Verteilung des Lastverkehrs auf den Richtungsfahrbahnen),  $S$  (Spurvariation der Fahrzeuge auf einer Richtungsfahrbahn),  $n$  (Bemessungsperiode in Jahren) und  $z$  (Zuwachsfaktor) [30]. In Gleichung 1.1 zur Berechnung der Bemessungsnormlastwechsel  $BNLW$  finden diese Faktoren Anwendung.  $JDTLV_{ges}$  steht für „jährlich durchschnittlicher täglicher Lastverkehr“ im gesamten Querschnitt und wird mithilfe des Faktors  $\ddot{A}$ , der den mittleren Äquivalenzfaktor des DTV(= durchschnittlich täglicher Verkehr)-Kollektives angibt, in Normlastwechsel umgerechnet [30].

$$BNLW = JDTLV_{ges} \cdot R \cdot V \cdot S \cdot \ddot{A} \cdot 365 \cdot n \cdot z \quad (1.1)$$

Zur Ermittlung der Äquivalenzfaktoren für Einzel- und Tandemachsen  $k_i$  werden Gleichungen 1.2 und 1.3 verwendet, wobei für  $L_i$  der Mittelwert der statischen Achslast in kN anzugeben ist [30]. Anhand dieser Äquivalenzfaktoren für einzelne Achsaggregate können anschließend Äquivalenzfaktoren  $\ddot{A}$  für häufig vorkommende DTV-Kollektive berechnet werden.

*Einzelachse:*

$$k_i = \left( \frac{L_i}{100} \right)^4 \quad (1.2)$$

*Tandemachse (f. flexible Befestigungen):*

$$k_i = \left( \frac{L_i}{183,5} \right)^4 \quad (1.3)$$

Bei diesen Gleichungen handelt es sich um das bereits erwähnte 4.Potenz-Gesetz, das aus dem AASHO-Road-Test abgeleitet wurde. Das Verhältnis der Schädigungen von einer beliebigen Achslast zur Standardachse von 100 kN entspricht deren Gewichtsverhältnis zueinander zur vierten Potenz. Bei Tandemachsen wird anstatt von 200 kN, die Bezugslast von 183,5 kN verwendet, da Tandemachsen eine geringere Schädigung bewirken, als zwei unabhängige Einzelachsen [30].

Es gilt zu beachten, dass beim AASHO-Road-Test Lastkraftwagen mit Tridemachsen nur für Sonderuntersuchungen verwendet wurden, infolgedessen konnten keine empirischen Formeln zur Ermittlung der Äquivalenzfaktoren von Tridemachsen abgeleitet werden [30]. Diesem Umstand Rechnung tragend wurde versucht mithilfe der vorhandenen Daten, jene Achslast einer Tridemachse zu finden, welche das gleiche Schädigungsverhalten wie eine Normachslast von 100 kN aufweist [30]. Somit wurde eine, ebenso auf dem 4.Potenz-Gesetz aufbauende, Gleichung zur Ermittlung der Äquivalenzfaktoren für Tridemachsen aufgestellt. Gleichung 1.4 zeigt diesen Zusammenhang, wobei  $L_i$  wiederum die mittlere Achslast der Tridemachse in kN und  $k_i$  den Äquivalenzfaktor der Tridemachse  $i$  angibt. Laut LITZKA et al. [23] wurde Gleichung 1.4 jedoch nicht in die RVS 3.63 (1986) aufgenommen.

Tridemachse (f. flexible Befestigungen):

$$k_i = \left( \frac{L_i}{254} \right)^4 \quad (1.4)$$

Nachdem die vorhandene Verkehrsbelastung durch die Bemessungsnormlastwechsel quantifiziert wurde, muss sie den maximal zulässigen Normlastwechsel gegenübergestellt werden [23]. Die Berechnung dieser zulässigen Normlastwechsel  $N$  erfolgt nach Gleichung 1.5 bzw. 1.6 über einen empirischen Zusammenhang zwischen den maßgebenden Dehnungen  $\varepsilon$  bzw. Spannungen  $\sigma$  und den temperaturabhängigen Parametern  $k_1$  bis  $k_4$ .  $C$  ist als die Schädigung definiert, die pro Lastwechsel verursacht wird und kann als Reziprokwert der zulässigen Lastwechselanzahl verstanden werden.

$$N = \frac{1}{C} = k_1 \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon} \right)^{k_2} \quad (1.5)$$

$$N = \frac{1}{C} = k_3 \cdot \left( \frac{1}{\sigma} \right)^{k_4} \quad (1.6)$$

Die sogenannten Ermüdungsgleichungen 1.5 und 1.6 konnten aufgrund von Laborversuchen aufgestellt werden, bei denen Probekörper bei verschiedenen Temperaturen und Lasteinwirkungen bis zum Versagen wiederholt belastet wurden. Die Dehnungen und Spannungen können mithilfe eines Primärwirkungsmodells, wie z.B.: jenes der Mehrschichtentheorie nach BURMISTER [13], berechnet werden. Nach LITZKA et al. [23] wird das Jahr in 12 Temperaturperioden ( $j = 1$  bis 12) unterteilt, die sich durch Temperatur und Untergrundtragfähigkeit voneinander unterscheiden und somit zu unterschiedlichen Materialparametern führen. Der Straßenkörper wird für jede der 12 Temperaturperioden durch die Normachse von 100 kN belastet und die daraus resultierenden Spannungen bzw. Dehnungen mithilfe eines Primärwirkungsmodells berechnet [23]. Daraus können für jeden Straßenoberbau  $S$ , 12 Teilschädigungen  $C_{S,j}$  berechnet werden, die anhand der linearen Schadensakkumulationshypothese nach PALMGREN-MINER [32] [27] (siehe Gleichung 1.7), in eine jährlich mittlere Schädigung  $C_S$  pro Normlastwechsel NLW umgerechnet werden.

$$C_S = \sum_{j=1}^{12} p_j \cdot C_{S,j} \quad (1.7)$$

mit:

$p_j$  ... Anteil der Teilperiode im Jahr, wobei gilt:

$$\sum_{j=1}^{12} p_j = 1 \quad (1.8)$$

Die maximal zulässigen Normlastwechsel eines bestimmten Straßenkörpers S ergeben sich daher zu:

$$NLW_{zul} = \frac{1}{C_S} \quad (1.9)$$

Die Anzahl der maximal zulässigen Normlastwechsel NLW sind in der RVS 3.63 (1986) für unterschiedliche Aufbauten und Bautypen in Katalogform angegeben, um somit eine Gegenüberstellung mit den Bemessungsnormlastwechseln für den Anwender leicht verständlich und zugänglich zu machen.

### Methodenkritik

In der RVS 3.63 von 1986 werden die Bemessungsnormlastwechsel, welche anhand des 4. Potenzgesetzes aus dem AASHO-Road-Test berechnet werden können, mit den zulässigen Lastwechseln, aus den Gleichungen 1.5 bzw. 1.6, verglichen. Offensichtlich werden hier zwei Normlastwechsel-Werte miteinander verglichen, die mithilfe gänzlich unterschiedlicher Ansätze ermittelt wurden. Wie auch LITZKA et al., 1996 [23] bemerkt, gehen in das 4. Potenzgesetz, subjektive und objektive Befahrbarkeitsindikatoren ein, die jedoch in den Ermüdungsgesetzen 1.5 und 1.6 nicht berücksichtigt werden. Es stellt sich daher die Frage, wie korrekt diese Vorgangsweise ist.

Außerdem können Gegebenheiten aus dem AASHO-Road-Test nicht direkt auf österreichische Verhältnisse umgelegt werden, denn weder die verwendeten Oberbautypen, noch die verwendeten Testfahrzeuge des AASHO-Road-Test, sind mit österreichischen Verhältnissen vergleichbar [23]. Empirische Verfahren, wie der AASHO-Road-Test, genügen nie dem Anspruch auf Allgemeingültigkeit, da die Auswirkungen veränderter Randbedingungen nicht abschätzbar sind.

Wie bereits erwähnt, ist eine Problematik dieser Methode, dass keine Formel zur Ermittlung der Äquivalenzfaktoren von Tridemachsen in die RVS 3.63 (1986) aufgenommen wurde. Es wurde zwar eine Gleichung dafür abgeleitet, diese basiert jedoch nur behelfsmäßig auf den Testdaten von Einzel- und Tandemachsen, da keine Testergebnisse für Tridemachsen vorliegen. Daher wird bei der Ermittlung der Äquivalenzwerte, zwar zwischen Einzel- und Tandemachsen unterschieden, viele andere entscheidende Faktoren werden allerdings völlig außer Acht gelassen. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang beispielsweise die Oberbaustruktur und die vom Klima abhängigen Steifigkeiten der einzelnen Schichten, die zwar auf der Widerstandsseite, jedoch nicht auf der Einflusseite (Äquivalenzwerte) berücksichtigt werden. Die einzige Unterscheidung, die die RVS 3.63 (1986) in Bezug auf Äquivalenzfaktoren kennt, ist jene zwischen flexibler und starrer Befestigung bei Ermittlung der Äquivalenzfaktoren für Tandemachsen.

## 1.2.4 RVS 03.63 (1998)

### Beschreibung der RVS

Die wesentlichste Änderung und Verbesserung der RVS ist, dass sowohl die vorhandenen, als auch die maximal zulässigen Lastwechsel mit einem einheitlichen Schädigungsmodell ermittelt werden [23]. Auf die Verwendung des 4. Potenz-Gesetzes aus dem AASHO-Road-Test wird gänzlich verzichtet. Stattdessen werden vorhandene und zulässige Verkehrsbelastungen anhand des selben Modelles in Normlastwechsel umgerechnet. Dies wird unter Verwendung des bereits in der RVS 3.63 (1986) verwendeten Prinzips zur Ermittlung der maximal zulässigen Normlastwechsel durchgeführt. Die Achslastverteilung und deren Häufigkeiten sind aus Achslastwägungen hochgerechnet. Damit werden die maßgebenden Spannungen bzw. Dehnungen mittels eines Primärwirkungsmodells ermittelt und in die Ermüdungsgleichung (Gleichung 1.5 bzw. 1.6) eingesetzt, um die einzelnen Schädigungen zu erhalten. Die Schädigungen der Einzel-, Tandem- und Tridemachsen werden für die unterschiedlichen Fahrzeugtypen aufsummiert, nach Häufigkeit gewichtet und in Bezug zur Schädigung einer 100 kN Normachse gestellt. Dies ergibt die Äquivalenzfaktoren der einzelnen Fahrzeugtypen. Der Äquivalenzfaktor eines ganzen Kollektives wird berechnet, indem man die Äquivalenzfaktoren aller Fahrzeugtypen im Kollektiv mit ihrer Auftrittshäufigkeit multipliziert und danach die Summe aus diesen Werten bildet.

Aus dem Gedanken heraus, dass sich die grundsätzliche Struktur der RVS 03.63 (1998) zu jener der RVS 03.08.63 (2008) nicht wesentlich unterscheidet, wird, um spätere Wiederholungen, zu vermeiden, in diesem Kapitel nur kurz auf den Aufbau der RVS 03.63 (1998) eingegangen. Grundsätzlich wird die vorhandene Verkehrsbelastung in durchschnittlich tägliche Normlastwechsel und anschließend in Bemessungsnormlastwechsel (BNLW) umgerechnet und einer von sechs Lastklassen zugeordnet [23]. Dies geschieht unter Anwendung von Äquivalenzfaktoren, die aus einer Tabelle, entweder für ein gesamtes Verkehrskollektiv in Abhängigkeit der Straßenkategorie oder für einzelne Fahrzeugkategorien, abgelesen werden können. Die Berechnung der Normlastwechsel durch Äquivalenzfaktoren für verschiedene Fahrzeugkategorien ist, aufgrund des höheren Genauigkeitsgrades, zu bevorzugen, kann jedoch nur unter Vorliegen von Ergebnissen aus Verkehrszählungen mit Unterscheidung nach Fahrzeugkategorien angewandt werden. Um auf die Bemessungsnormlastwechsel (BNLW) zu kommen werden die durchschnittlich täglichen Normlastwechsel noch mit einigen Faktoren korrigiert, wie sie ebenso in der RVS 03.08.63 (2008) und in Gleichung 1.10 zu finden sind. Mittels einer Tabelle wird je nach Anzahl der BNLW eine Lastklasse ausgewählt, innerhalb welcher verschiedene Bautypen für die zu planende Straße zur Auswahl stehen.

### Methodenkritik

Laut FISCHER, 2002 (S.9) [16] ergeben sich für den Anwender nur minimale Änderungen im Vergleich zur Norm aus dem Jahre 1986. Die Grundlagen der Norm haben sich

zwar durch die Verlagerung von empirischen zu analytischen Modellen stark verändert, der Anwender sieht davon jedoch nur sehr wenig. Die wesentlichen anwenderspezifischen Änderungen sind die Erweiterung der Lastklassen von fünf auf sechs, sowie die Ergänzung der bituminösen Bemessungstabelle um einen Bautyp.

### 1.2.5 RVS 03.08.63 (2008)

#### Beschreibung der RVS

Der Aufbau der RVS 03.08.63 [38] ähnelt stark der RVS 03.63(1998). Spannungen und Dehnungen im Asphaltkörper, hervorgerufen durch die Verkehrsbelastung, werden mithilfe eines Primärwirkungsmodells berechnet und in eine Ermüdungsgleichung eingesetzt. Die Schädigung daraus wird mit jener der Normachse von 100 kN verglichen und aus diesen Kenntnissen Äquivalenzfaktoren für unterschiedliche Fahrzeugtypen abgeleitet. Die Vorgangsweise und die einzelnen Formeln aus der RVS 03.08.63 [38] werden hier näher erläutert.

In der aktuellen RVS 03.08.63 [38] aus dem Jahr 2008 werden anstatt von sechs, sieben Lastklassen unterschieden (S bis VI). Die Lastklassen unterscheiden sich durch die Anzahl der Übergänge der Normachslast von 100 kN, wobei der am stärksten belastete Fahrstreifen maßgebend ist. Die Bemessungsnormlastwechsel ergeben sich aus Gleichung 1.10.  $NLW_{\text{tägl}}$  gibt die durchschnittlichen täglichen Normlastwechsel für einen Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe an. Die Faktoren  $R$ ,  $V$ ,  $S$ ,  $n$  und  $z$  sind bereits aus der RVS 3.63 (1986) bekannt und stehen für den Richtungsfaktor, den Verteilungsfaktor des Lastverkehrs auf mehreren Richtungsfahrstreifen, den Spurvariationsfaktor, die Bemessungsperiode in Jahren, sowie den Zuwachsfaktor der Verkehrsbelastung.

$$BNLW = NLW_{\text{tägl}} \cdot R \cdot V \cdot S \cdot 365 \cdot n \cdot z \quad (1.10)$$

Falls Daten über die einzelnen Verkehrsstärken der Fahrzeugkategorien bekannt sind, werden die täglichen Normlastwechsel anhand von Gleichung 1.11 berechnet. Der  $JDTV_i$  ist die jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie  $i$  und wird mit dem jeweiligen Äquivalenzfaktor dieser Fahrzeugkategorie multipliziert. Bei den Fahrzeugkategorien, die in Tabelle 1.1 zu sehen sind, wird unterschieden zwischen LKW mit und ohne Anhänger, Sattelzug, Bus, Linienbus und Liniengelenkbus.

$$NLW_{\text{tägl}} = \sum_i JDTV_i \cdot \ddot{A}_i \quad (1.11)$$

Falls keine Daten über die Häufigkeit der Fahrzeugkategorien vorliegen, muss mit einem mittlerem Äquivalenzwert für das gesamte Kollektiv gerechnet werden, der nur in Abhängigkeit der Straßenkategorie gewählt wird und aus Tabelle 1.2 abgelesen werden kann. In Gleichung 1.12 wird dieser Wert mit dem  $JDTLV$ , der jährlich durchschnittlichen täglichen Lastverkehrsstärke, multipliziert.



Tabelle 1.1: Äquivalenzfaktoren der Fahrzeugkategorien aus RVS 03.08.63 [38]

Fahrzeugkategorie	Ä
LKW ohne Anhänger	0,70
LKW mit Anhänger bzw. Sattelzug	1,20
Bus	0,60
Linienbus (ÖPNV)	0,80
Liniengelenkbus (ÖPNV)	1,40

Tabelle 1.2: Äquivalenzfaktoren nach Straßenkategorien aus RVS 03.08.63 [38]

Straßenkategorie	Ä <sub>JDTLV</sub>
Autobahnen	1,00
sonstige Straßen	0,90

$$NLW_{\text{tägl}} = JDTLV_{ges} \cdot \ddot{A}_{JDTLV} \quad (1.12)$$

## Methodenkritik

Ein klarer Kritikpunkt an der RVS 03.08.63 [38] ist, dass die Differenzierung der Äquivalenzfaktoren nicht besonders detailliert ausfällt. Somit werden beispielsweise alle LKWs ohne Anhänger gemeinsam mit einem Äquivalenzwert beschrieben, obwohl das Schädigungsverhalten von LKW zu LKW stark schwankt. Dies ist zurückzuführen auf unterschiedliche Geometrien und Größen und auf die unterschiedliche Beladung. Falls nur sehr vage Daten zur Verkehrsbelastung vorhanden sind, ist die RVS 03.08.63 [38] ausreichend, sollten jedoch genauere Daten zu der Verkehrszusammensetzung und den Achslastverteilungen vorliegen, gibt die derzeitige Richtlinie dem Anwender keine Möglichkeiten diese zusätzlichen Daten in die Bemessung einfließen zu lassen.

Außerdem muss erwähnt werden, dass in der aktuellen RVS vereinfachend mit einem Modellsphal gerechnet wird, der zwar das Verhalten der meisten Asphalte abdecken sollte, moderne asphalttechnologische Entwicklungen jedoch nicht abbilden kann. Dementsprechend gibt es in RVS 03.08.63 [38] keine Motivation für herstellende Unternehmen einen besseren Asphalt, als den laut Ausschreibung geforderten „Standard“-Asphalt zu verwenden.

### 1.3 Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen in Österreich

Eine der wesentlichen Fragestellungen der Dimensionierung von Asphaltstraßen ist es, die Wechselwirkung zwischen dem Straßenoberbau und den darauf fahrenden Achsen bzw. Kraftfahrzeugen zu erfassen. Unter Wechselwirkung versteht man in diesem Zusammenhang die Schädigung, die die Achse bzw. das Kraftfahrzeug im Asphalt verursacht. In diesem Kapitel soll der Ablauf von der Erfassung einer Einwirkung (z.B. einer Einzelachse) bis zur Ermittlung dessen Schädigung im Straßenoberbaumaterial unter Berücksichtigung diverser Parameter erläutert werden. Diese Vorgangsweise betrifft sowohl die Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen in Österreich im Allgemeinen, als auch jene der vorliegenden Arbeit im Besonderen.

Vor jedweder Berechnung einer Materialschädigung steht die Bestimmung der entsprechenden Materialkennwerte. Da es im Straßenoberbau in Österreich über das Jahr hinweg zu starken Temperaturschwankungen in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen kommen kann, ist es unerlässlich diese Schwankungen zu berücksichtigen. Eine Annahme konstanter Materialkennwerte kann besonders bei hohen Temperaturen (Asphalt) und hohem Wassergehalt (Untergrund) zu großen Fehlern führen.

Die Berücksichtigung der über das Jahr wechselnden Temperaturverhältnisse, erfolgt unter Verwendung der von MAIS [25] vorgeschlagenen Temperaturperioden. Aufgrund von täglichen und jährlichen Temperaturschwankungen in den bituminösen Schichten wurde das Jahr in 6 Klimaperioden eingeteilt, die sich wiederum durch Tag und Nacht unterscheiden [25]. Somit ergeben sich für das Jahr 12 Temperaturperioden, welche sich durch annähernd gleiche Temperaturverhältnisse auszeichnen. Diese sind in Tabelle 1.3 dargestellt. Um den Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Entfernung zur Geländeoberkante in der Dimensionierung berücksichtigen zu können, kann die Tabelle 1.4 von MILKOVICS [26] verwendet werden.

Tabelle 1.3: Einteilung des Jahres in 6 Klimaperioden bzw. in 12 Temperaturperioden in Abhängigkeit von der Jahres- und Tageszeit, nach MAIS [25]

Klimaperiode	1		2		3		4		5		6	
Zeitraum	16.12.-15.3.		16.3.-15.5.		16.5.-15.6.		16.6.-15.9.		16.9.-15.10.		16.10.-15.12.	
Tag/Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
Temp.-periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Für bituminöse Schichten wird ein Modellasphalt angesetzt, dessen dynamische Steifigkeit  $E_{dyn}$  gemäß Gleichung 1.13 in Abhängigkeit der Temperatur  $T$  in der Mitte der untersuchten Schicht (siehe Tabelle 1.4) berechnet werden kann.

$$E_{dyn} = -2,079 \cdot 10^{-4} \cdot T^4 - 2,065 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 + 5,271 \cdot T^2 - 4,193 \cdot 10^2 \cdot T + 9218 \quad (1.13)$$

Tabelle 1.4: Charakteristische mittlere Temperaturen in der Mitte der bituminösen Schicht in Abhängigkeit von der Jahreszeit und der Schichtstärke  $h_1$ , MILKOVICS [26]

Jahreszeit	16.12.-15.3.		16.3.-15.5.		16.5.-15.6.		16.6.-15.9.		16.9.-15.10.		16.10.-15.12.	
Temp.-periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$h_1$ [cm]	Bemessungstemperatur [°C]											
6	-1	-7	17	8	31	18	34	20	26	15	10	5
8	-1	-7	16	8	31	18	34	20	25	15	10	6
9	-1	-7	16	8	30	18	33	21	25	15	10	6
10	-1	-7	16	8	30	18	33	21	25	15	10	6
11	-1	-7	16	8	30	18	32	21	24	15	10	6
12	-1	-6	15	8	29	18	32	21	24	15	10	6
14	-1	-6	15	8	29	18	31	21	24	16	10	6
15	-1	-6	15	8	29	18	31	21	23	16	10	7
17	-1	-6	15	9	28	18	30	21	23	16	10	7
18	-1	-6	14	9	28	18	30	21	23	16	10	7
20	-1	-6	14	9	28	18	30	21	23	16	10	7
21	-1	-6	14	9	26	18	29	21	22	16	10	7
22	-1	-6	14	9	26	18	29	21	22	16	10	7
24	-1	-6	14	9	26	18	29	21	22	16	10	7
25	-1	-5	14	9	26	18	28	21	22	16	10	8
26	-1	-5	14	9	26	18	28	21	22	16	10	8
28	-1	-5	13	10	25	18	28	21	21	16	9	8
29	-1	-5	13	10	25	18	27	21	21	16	9	8
32	-1	-4	13	10	24	18	27	21	20	16	9	8
33	-1	-4	13	10	23	19	26	21	20	17	9	8
36	-1	-4	12	10	23	18	26	21	20	17	9	8
37	-1	-3	12	10	23	18	26	21	20	17	9	8
40	-1	-3	12	10	22	18	25	21	19	17	9	8

Die Tragfähigkeit des Untergrunds wird durch den dynamischen E-Modul beschrieben und ist über das Jahr hinweg starken Schwankungen unterworfen. Am meisten beeinflusst wird die Tragfähigkeit des Untergrunds vom Wassergehalt und dessen Aggregatzustand, der wiederum von der Temperatur abhängig ist. Diesem Umstand Rechnung tragend, werden die, für die weitere Berechnung verwendeten Festigkeitswerte, laut Tabelle 1.5 aus LITZKA et al. [23] entnommen.

Tabelle 1.5: Dynamische E-Moduln  $E_{dyn}$ , UG für den Untergrund und die ungebundenen Tragschichten in Abhängigkeit von der Jahreszeit in  $MN/m^2$  LITZKA et al. [23]

	16.Dez.-15.März	16.März-15.Mai	16.Mai-15.Juni	16.Juni-15.Dez.
Ungeb.ob.TS	1064	266	380	532
Ungeb.unt.TS	560	140	200	280
Untergrund	280	70	100	140

Nach Festlegung dieser Materialkennwerte besteht der nächste Schritt darin festzustellen, welche Spannungen und Dehnungen, also welche sogenannten Primärwirkungen, durch eine Lasteinwirkung im Asphalt hervorgerufen werden.

Für die Ermittlung des dreidimensionalen Spannungszustands in der bituminösen Schicht wird das Programm LEAP („Linear Elastic Analysis Program“) verwendet. LEAP arbeitet

unter Verwendung der Mehrschichtentheorie nach BURMISTER [13]. Die Struktur wird dabei durch einen geschichteten elastischen Halbraum beschrieben, wobei für jeden Punkt des Halbraums die vorherrschenden Primärwirkungen (Spannungen:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  und Dehnungen:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ ) berechnet werden können. Der durch LEAP errechnete dreidimensionale Spannungszustand wird, unter Verwendung der modifizierten Schubspannungshypothese nach LEON [21], in einen äquivalenten einaxialen Vergleichsspannungszustand transformiert. In MOLZER [29] wird dieser Vorgang näher erläutert: Die sogenannte Leon'sche Parabel, die die Grenzlinie des Versagens bildet, berührt die Mohr'schen Spannungskreise (siehe Abbildung 1.1). LEON [21] überprüfte diese Parabel mittels Versuchen an Betonproben. In weiterer Folge bewies HAGEMANN [17], dass die Parabel, auch für Asphalt gültig ist, unter der Prämisse, dass deren Parameter temperaturabhängig sind. Die Form der Parabel wird durch den Parameter  $c$  bestimmt, welcher sich aus dem Verhältnis von Druck- zu Zugfestigkeit ergibt. Die von HAGEMANN [17] bei Versuchstemperaturen  $T < 40^\circ\text{C}$  untersuchte Temperaturabhängigkeit von  $c$  wird nach Gleichung 1.14 berechnet.  $T$  gibt die Versuchstemperatur an der Unterseite der bituminösen Schicht an und  $\sigma_D$  bzw.  $\sigma_Z$  stehen für die einaxiale Druck- bzw. Zugfestigkeit.

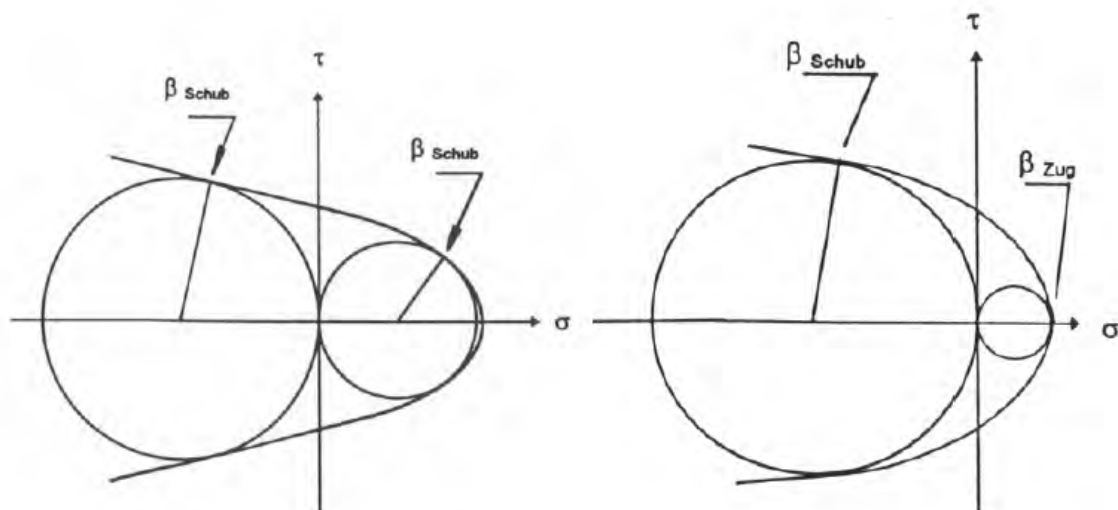


Abbildung 1.1: Leon'sche Parabel: links für Schubbruch ohne Möglichkeit des Trennbruchs ( $1 \leq c < 3$ ); rechts mit Möglichkeit des Trennbruchs ( $c \geq 3$ ) LORENZL [24]

$$c = \frac{\sigma_D}{\sigma_Z} = \left( \frac{72,7749 - T}{32,8565} \right)^{1,923} [-] \quad (1.14)$$

Solange  $1 \leq c < 3$  gilt, versagt der Baustoff durch Überschreiten der Schubfestigkeit (Gleitbruch), bei  $c \geq 3$  tritt Versagen aufgrund des Überschreitens der Zugfestigkeit (Trennbruch) ein. In LITZKA et al. [23] wird daher, Gleichung 1.14 betreffend, zusammenfassend festgestellt: „Mit steigender Temperatur geht dabei der Parameter  $c$  gegen 1, fällt die Temperatur wird der Parameter größer ( $T = 0^\circ\text{C} : c = 4,6$ ), was der Vorstellung vom Bruchverhalten des Asphaltes entspricht.“ Nach dem Grenzflächenkonzept von ALTENBACH [1], sowie Versuchen zu Grenzflächen des Versagens von HAGEMANN [17] kann die Leon'sche Parabel

an jeden Mohr'schen Spannungskreis angelegt werden und somit ein mehrachsiger Spannungszustand in einen äquivalenten einaxialen Spannungszustand umgewandelt werden. Die Spannungstransformation erfolgt gemäß Gleichung 1.15 bis 1.18, wobei der Parameter  $\sigma_v$  für die einaxiale Vergleichsspannung steht und  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  für die maximalen und minimalen Hauptnormalspannungen. Der nach HAGEMANN [17] temperaturabhängige Formparameter  $c$  für die Leon'sche Parabel ist bereits aus Gleichung 1.14 bekannt und wird zur Berechnung des Faktors  $p_c$  benötigt.

$$\sigma_v = f(\sigma_1, \sigma_3, c(T)) \quad (1.15)$$

für  $1 \leq c < 3$ :

$$\sigma_v = \frac{c-1}{2 \cdot c} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3) \pm \sqrt{\frac{(c-1)^2}{4 \cdot c^2} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3)^2 + \frac{1}{c} \cdot (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \quad (1.16)$$

für  $c \geq 3$ :

$$\sigma_v = -\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2 \cdot (p_c - 2)} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_1 + \sigma_3)^2}{4 \cdot (p_c - 2)^2} - \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{4 \cdot p_c \cdot (p_c - 2)}} \quad (1.17)$$

mit:

$$p_c = 0,5 \cdot [(c+2) - 2 \cdot \sqrt{c+1}] \quad (1.18)$$

Mit Hilfe der so ermittelten Vergleichsspannung kann die Anzahl der zulässigen Lastwechsel bis zum Materialversagen unter Anwendung des Ermüdungsgesetzes nach LITZKA [22] bestimmt werden. Festigkeit und Steifigkeit des Asphalts nehmen durch wiederholte, dynamische Verkehrsbelastung ab und die Beanspruchungen summieren sich zu einem kumulativen Schaden. Als Ort für diesen ersten Ermüdungsschaden wird die Unterseite der Asphaltenschicht angenommen. Da Strukturschäden an Straßenkonstruktionen am häufigsten durch Ermüdung entstehen, wird zur weiteren Bemessung die Vergleichsspannung an der Unterseite dieser Schicht herangezogen. Das Ermüdungsgesetz wurde anhand mehrerer Versuche im Labor aufgestellt. Die Asphaltprobekörper wurden dynamischen Biege-, Torsions-, Zug- oder Druckversuchen ausgesetzt. Laut ARAND et al. [2] gilt bei lastgeregelten Versuchen eine Zunahme der Dehnung um 100%, bei weggeregelten Versuchen eine Abnahme der Spannung um 50% als Versagenkriterium für Asphalt. Diese Kriterien sind nötig, da es beim Versuch im Labor, aufgrund der viskoelastischen Eigenschaften von Asphalt nicht zum tatsächlichen Ermüdungsbruch kommt. Die Anzahl der zulässigen Lastwechsel, und somit die technische Lebensdauer der Straßenkonstruktion, ergeben sich somit aus diesem empirisch ermittelten Ermüdungsgesetz in Gleichung 1.19. Diese Gleichungen werden bereits in der RVS 3.63 (1986) (siehe Gleichung 1.5 bzw. 1.6), RVS 03.63, sowie der RVS 03.08.63 verwendet. Die temperaturabhängigen Parameter  $k_1$  und  $k_2$  ergeben sich aus Gleichung 1.20 und 1.21.  $\sigma_v$  ist bereits als Vergleichsspannung aus Gleichung 1.16 und 1.17 bekannt und  $E_{dyn}$  ist der (temperaturabhängige) dynamische E-Modul des Asphaltes.

$$N_{zul} = k_1(T) \cdot \left( \frac{E_{dyn}(T)}{\sigma_v} \right)^{k_2(T)} \quad (1.19)$$

Die Werte für  $k_1(70)$  und  $k_2(70)$  stammen von LITZKA et al. [23] und werden mit  $4,6E-12$  für  $k_1(70)$  und  $5$  für  $k_2(70)$  angesetzt und sind für eine Temperatur von  $70^\circ\text{Fahrenheit}$  (entspricht etwa  $21,1^\circ\text{C}$ ) gültig. Da die Temperatur  $T$  für Gleichung 1.20 und 1.21 in der Einheit Fahrenheit benötigt wird, können etwaige Celsius-Werte mithilfe von Gleichung 1.22 umgerechnet werden.

$$k_1(T) = k_1(70) \cdot 10^{0,08896 \cdot (T-70) - 0,0023817 \cdot (T-70)^2} \quad (1.20)$$

$$k_2(T) = k_2(70) - 0,01349 \cdot (T - 70) + 0,0004624 \cdot (T - 70)^2 \quad (1.21)$$

$$T[^\circ F] = \frac{9}{5} \cdot T[^\circ C] + 32 \quad (1.22)$$

Die Schädigungsrate  $C$  der Straßenkonstruktion wird durch den Reziprokwert der zulässigen Lastwechsel berechnet (siehe Gleichung 1.23).

$$C = \frac{1}{N_{zul}} \quad (1.23)$$

Die Schädigung für eine bestimmte Belastung und jeweils für alle Temperaturperioden werden je nach dem Anteil der Temperaturperiode im Jahr gewichtet und können auf der Grundlage der linearen Schadensakkumulationshypothese nach PALMGREN-MINER [32] [27] über ein Jahr aufsummiert werden. Somit wird durch Gleichung 1.24 [23] eine jährliche mittlere Schädigung pro Lastwechsel bestimmt und über das Jahr gewichtet.  $C_j$  und  $p_j$  entsprechen der Teilschädigung in der Temperaturperiode  $j$  und dem Anteil dieser Temperaturperiode an einem Jahr. Die Jahresanteile der sechs Klimaperioden werden jeweils zu  $2/3$  Tag und  $1/3$  Nacht aufgeteilt [39]. Diese Aufteilung ist in Tabelle 1.6 ersichtlich.

$$C = \sum_{j=1}^{12} p_j \cdot C_j \quad (1.24)$$

Das Ermüdungsgesetz (siehe Gleichung 1.19, sowie Gleichung 1.5 bzw. 1.6) ist nur ein Hilfsmittel um die Ermüdung des Asphalts durch die wiederkehrende Beanspruchung des Verkehrs zu beschreiben. Dieses Gesetz basiert auf empirischen Daten, die aus Laborversuchen stammen und ist dementsprechend von den festgelegten Versuchsbedingungen abhängig. Ein wesentliches Manko dieses Gesetzes besteht darin, dass es bisher nicht gelungen ist, die Bitumenalterung, die sich (bei höheren Temperaturen) positiv auf die Beständigkeit des Asphalts auswirkt und die auch in Realität auftritt, im Labor zu berücksichtigen. Tendenziell liegen daher die Ergebnisse, die durch das Ermüdungsgesetz erzielt werden auf der

Tabelle 1.6: Aufteilungsfaktoren  $p_j$  der vorhandenen Verkehrsbelastung für die 12 Temperaturperioden im österreichischen Oberbaubemessungsmodell, WISTUBA [39]

Jahreszeit	16.12.-15.3.		16.3.-15.5.		16.5.-15.6.		16.6.-15.9.		16.9.-15.10.		16.10.-15.12.	
Tage	90		61		31		92		30		61	
Jahresanteil [%]	0,24		0,17		0,09		0,25		0,08		0,17	
$p_i$	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	0,16	0,08	0,11	0,06	0,06	0,03	0,17	0,08	0,05	0,03	0,11	0,06

sicheren Seite, da sie eine geringere Lebensdauer der Straße voraussagen, als diese vielleicht in Realität erreichen kann. Nichtsdestotrotz gilt es zu erwähnen, dass die Auswahl der temperaturabhängigen Parameter  $k_1$  und  $k_2$  sehr heikel ist und nicht immer konservativ ausfällt. Daher kann eventuell die Nichtberücksichtigung der Bitumenalterung eine mögliche nicht konservative Wahl dieser Parameter ausgleichen.

## 2 | Einflussfaktoren der Oberbaudimensionierung

### 2.1 Identifikation von Einflussfaktoren

Ziel der Oberbaudimensionierung im Straßenbau ist es die Realität möglichst genau durch ein Modell abzubilden. Je mehr Parameter berücksichtigt werden, umso besser lässt sich besagtes Modell an jedes beliebige Szenario anpassen. Die eigentliche Herausforderung ist es daher, einen Kompromiss zu finden zwischen der Genauigkeit eines Modells und dessen Berechnungsaufwand. Diesem Umstand Rechnung tragend, werden zunächst alle Parameter, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Belastung haben, identifiziert und in den folgenden Kapiteln kurz beschrieben.

### 2.2 Reifentyp

ZAHNMESSER [41] erklärt, dass ausgehend vom Vollgummireifen, im Laufe der Entwicklung Luftreifen verschiedener Bauarten (Diagonal- und Radialreifen), Bauformen (Niederquerschnitts- und Breitreifen) und die Form der Felgen (Schrägschulter- und Steilschulterfelge) variiert wurden. Er stellte fest, dass es das Ziel war zunehmend höhere Achslasten mit höherer Geschwindigkeit zu transportieren. Um dies zu erreichen musste das Laufverhalten des Reifens optimiert werden. ZAHNMESSER [41] erkannte weiter, dass sich je nach Profilierung, Gewebeeinlage und Gummimischung Unterschiede in der Lastübertragung und somit in der Schädigungswirkung ergeben.

Laut NEUMANN [31] zeichnet sich der Radialreifen durch erhöhte „Laufleistung, Tragfähigkeit und Geschwindigkeit“ aus und verdrängte daher den Diagonalreifen vom Markt. Zu der Felgenform schreibt er [31], dass die Verwendung von „schlauchlosen Radialreifen auf Steilschulterfelgen verbesserte Gebrauchseigenschaften (Laufruhe, Lenkpräzision und Abnutzung), sowie Qualitäts-, Gewichts- und Kostenvorteilen“ bringt. Der Vorteil von Niederquerschnittsreifen ist, dass sie die Fahrzeugbauhöhe verringern und daher beispielsweise für Busse im städtischen ÖPNV genutzt werden.

Abschließend soll MOLZER [30] zitiert werden, der den Einfluss unterschiedlicher Reifen wie folgt zusammenfasst: „Einzelreifen in konventioneller Ausführung beanspruchen eine Straßenbefestigung erheblich mehr als Zwillingsreifen in konventioneller Ausführung



(bei gleicher Achslast). Überbreite Einzelreifen bewirken ebenfalls eine deutlich höhere Beanspruchung, liegen aber hinter der Beanspruchung durch konventionelle Einzelreifen zurück. Mit Niederquerschnittszwillingsreifen bestückte Achsen sind bei gleicher Achslast etwa gleich aggressiv wie überbreite Einzelreifen.“

## 2.3 Reifeninnendruck

Einer der offensichtlichsten Einflussfaktoren auf die Schädigung des Straßenoberbaus ist der Reifeninnendruck. Ein hoher Reifeninnendruck schädigt aufgrund des hohen Drucks auf die Latschfläche, stärker als ein vergleichsweise geringerer. Als Latschfläche wird die Aufstandsfläche des Reifens auf der Straßenoberfläche bezeichnet. Je geringer, der Druck im Reifen ist, desto größer ist diese Latschfläche und desto geringer ist daher auch die maßgebliche Flächenpressung (Kontaktdruck) und umgekehrt.

Laut ZAHNMESSER [41] ist der Kontaktdruck in der Latschfläche ungleichmäßig verteilt. Untersuchungen von BODE [11] am rollenden LKW-Reifen haben zudem gezeigt, dass sich die Latschfläche bei dementsprechender Erhöhung der Radlast ausschließlich durch Verlängerung der Aufstandsfläche vergrößert. Abbildung 2.1 von BODE [11] zeigt außerdem, dass die Druckverteilung in der Längsachse der Latschfläche als relativ gleichmäßig verteilt, aber mit steil abfallenden Enden angesehen werden kann. An den äußeren Seiten in Querrichtung zeichnen sich jedoch bogenförmige Druckverläufe ab, die unter Umständen auch größer als jene in der Längsachse sein können. In ZAHNMESSER [41] ist außerdem beschrieben, dass diese äußeren Spitzen durch die Biegung der Reifenseitenwände ausgelöst werden und mit zunehmender Einfederung größer werden. Eine größere Einfederung kann entweder durch eine Steigerung der Belastung oder durch Verringerung des Reifeninnendrucks bewirkt werden [41] [11]. Außerdem führt, Untersuchungen von CLARK [14] zufolge, eine höhere Biegesteifigkeit der Reifenseitenwände (entspricht einer größeren PR-Zahl) ebenfalls zu erhöhten Druckspitzen in den zur Längsachse parallelen Randbereichen des Reifens. „Radialreifen haben aufgrund ihrer Bauart eine noch geringere Biegesteifigkeit als Diagonalreifen und daher noch geringere Druckspitzen“ [41].

ZAHNMESSER [41] stellte Vergleichsrechnungen an, denen zufolge es, die Normalspannungen an der Unterseite der bituminösen Schicht betreffend, unwesentlich ist, ob die Last mittels konstantem Druck aufgebracht wird, oder ob die Spannungsdifferenzen innerhalb der Latschfläche berücksichtigt werden. Es ist daher nur logisch, dass in dem von uns verwendeten Primärwirkungsmodell, der Mehrschichtentheorie von Burmister, die Last der Einfachheit halber, mittels konstantem Kontaktdruck eingeleitet wird. Darüber hinaus wird die Latschfläche, vereinfachend als kreisförmige Lastfläche angenommen. Diese Lastgeometrie wird als „Topflast“ bezeichnet. Nach MITSCHKE [28] wird der mittlere Kontaktdruck  $p_m$  näherungsweise dem am kalten Reifen gemessenen Inndendruck  $p_i$  gleichgesetzt (siehe Gleichung 2.1). Somit erhält man eine Topflast mit einem mittleren Kontaktdruck, der jenem im Reifeninneren entspricht, und deren Radius  $r$  nach Gleichung 2.2 über die bekannten Komponenten Druck  $p_m$  und Last  $L$  berechnet werden kann.

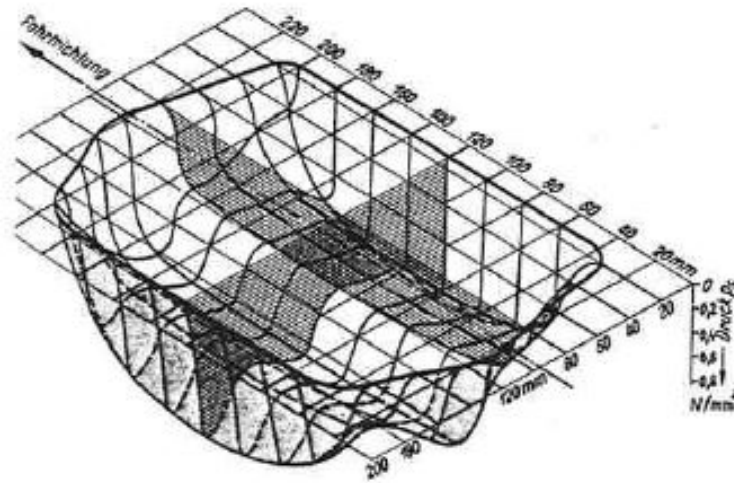


Abbildung 2.1: Beispiel für die Druckverteilung unter einem unprofilten, leerlaufenden Reifen [11]

$$p_m \approx p_i \quad (2.1)$$

$$r = \sqrt{\frac{L}{p_m \cdot \pi}} \quad (2.2)$$

## 2.4 Federung

Die absolute Ebenheit einer Fahrbahnoberfläche ist, selbst im neuwertigen Zustand, nie gegeben [30]. Unebenheiten in Längs- sowie in Querrichtung führen zu Hub- und Nickbewegungen des fahrenden Fahrzeuges. Aufgrund dieser Bewegungen kommt es zu Schwankungen der dynamischen Achslasten, die dadurch größere oder kleinere Werte als die statischen Achslasten annehmen können. Die Schwingungen, denen das Fahrzeug ausgesetzt ist, werden einerseits durch die Federung zwischen Fahrzeugaufbau und Achse beeinflusst, andererseits aber auch durch die Federung zwischen Fahrbahn und Achse, die durch die Reifen bewerkstelligt wird. Daher kann das Fahrzeug, wie in Abbildung 2.2 illustriert, als Zweimassensystem idealisiert werden.

MOLZER et al., 1995 [30] differenziert zwischen Fahrzeugen mit straßenschonender und konventioneller Federung. Aus diversen Literaturstudien zog er den Schluss, dass Fahrzeugtypen mit straßenschonender im Vergleich zu konventioneller Federung in etwa 5% weniger schädigen. Außerdem gibt MOLZER et al., 1995 [30] an, dass für eine Geschwindigkeitsreduktion von 10 km/h auf dem hochrangigen Straßennetz mit einer um 1% geringeren Fahrbahnschädigung gerechnet werden kann.

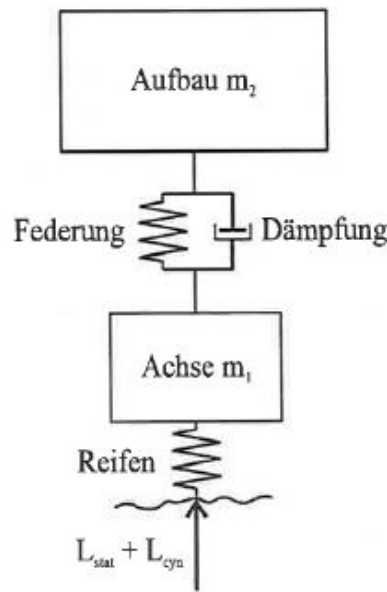


Abbildung 2.2: Das Fahrzeug als Zweimassensystem (FGSV, 1983)

## 2.5 Achsabstand

Der Achsabstand spielt insofern eine wichtige Rolle, da sich die Achslasten in Abhängigkeit der Größe der Lasten und deren Abstand beeinflussen und die resultierenden Spannungen vergrößern aber auch abmindern können. Aus der Anwendung der Mehrschichtentheorie von BURMISTER [13] als Primärwirkungsmodell geht hervor, dass eine einzelne Last zwar horizontale Zugspannungen an der Unterseite der bituminösen Schicht zur Folge hat, sich jedoch auch horizontale Druckspannungen in einigem Abstand vom Lastangriffspunkt in der gleichen Tiefe ausbilden können. Greift nun eine zweite Last im Bereich solcher Druckspannungen an, überlagern sich jeweils die Zugspannungen der einen Last und die Druckspannungen der anderen und resultieren in einer geringeren Gesamtspannung. Somit ist auch erklärt warum Tandemachsen tendenziell weniger schädigen als zwei gleichbelastete Einzelachsen. Diese Theorie wird in Kapitel 4.2 nochmals aufgegriffen und durch die aufgestellten Schadensfunktionen belegt.

## 2.6 Verteilung der Achslasten

Die Verteilung der Achslasten hat aus dem selben Grund einen Einfluss auf die Schädigung wie der Achsabstand. Wie bereits erwähnt, überlagern sich die Spannungen und Dehnungen bei mehreren Lasten in Abhängigkeit von Achsabstand und Achslast. Somit macht es einen Unterschied, ob eine Tandemachse mit zwei gleichen oder unterschiedlichen Achslasten belastet wird. Auf dieses Thema wird ebenfalls in Kapitel 4.2 noch näher eingegangen.

## 2.7 Klima

Das Klima ist wohl jener Einflussfaktor, dessen Variation die stärksten Änderungen im Ausmaß der Schädigung im Straßenoberbau hervorrufen kann. Da der Begriff Klima sehr allgemein gehalten ist, wird er für diese Arbeit auf die beiden Parameter Temperatur und hydrologische Verhältnisse spezifiziert. Die Veränderung der Temperatur ist insofern maßgebend, da der E-Modul von Asphalt sehr stark temperaturabhängig ist. Dieser kann im Winter in etwa bis zu neunmal höher sein, als im Sommer. Neben der Temperatur spielen die hydrologischen Verhältnisse eine wichtige Rolle. Der Untergrund, sowie auch die ungebundenen Tragschichten stehen in Kommunikation mit der Umgebung und sind daher auch, in Abhängigkeit des Niederschlages, Wassergehaltsschwankungen ausgesetzt. Es gilt zu betonen, dass bei wasserempfindlichen Böden sowohl der Wassergehalt, als auch dessen Aggregatzustand die Tragfähigkeit des Untergrundes beeinflussen. Steigt der Wassergehalt der Untergrundmatrix an, vermindert sich dessen Elastizitätsmodul empfindlich, es sei denn, das Wasser gefriert, dies würde eine Steigerung der Tragfähigkeit nach sich ziehen.

## 2.8 Struktur

Die Struktur des Straßenoberbaus gilt streng genommen nicht als Einflussfaktor, sondern eher als Ergebnis aller angestellten Überlegungen. Nach Berücksichtigung aller relevanten Faktoren, ergibt sich als Bemessungsergebnis eine Struktur mit bestimmten Materialkennwerte, die notwendig ist, um einer gewissen Verkehrsbelastung über einen gewissen Zeitraum hinweg standzuhalten. Dennoch wird die Struktur hier als Einflussfaktor angegeben, da sie einen wesentlichen Einfluss auf die maximal zulässigen Lastwechsel hat, der ein Straßenoberbau ausgesetzt werden kann. Es liegt auf der Hand, dass die Lebensdauer eines Oberbaus mit sehr geringen Schichtstärken relativ schnell erreicht ist und durch Verwendung höherer Schichtstärken verlängert werden kann.

## 2.9 Planungszeitraum und Verkehrszuwachs

Der Verkehr und insbesondere der Schwerverkehr sind ständig Änderungen unterworfen. Die Trends gehen Richtung höhere Gesamtgewichte, höhere Achslasten und höheres Verkehrsaufkommen. Obwohl seitens der Politik, um Umweltmissionen zu reduzieren, Versuche unternommen werden, die die Verkehrswege Schiene und Wasser für den Güterverkehr attraktiver machen sollen, ist ein stetiger Zuwachs an Straßengüterverkehr zu verzeichnen. In Abhängigkeit davon, auf wie viele Jahre die Straße bemessen werden soll und wie hoch die jährliche Zuwachsrates des Verkehrs ist, steigt die Verkehrsbelastung, die die zu planende Straße aufnehmen können muss. Aus diesem Grund ist es für den Planer unerlässlich den Planungszeitraum und einen dafür realistischen Verkehrszuwachs festzulegen.

Der starke Anstieg des Straßengüterverkehrs, siehe Abbildung 2.3, ist laut BMVIT [8] einerseits auf die politischen Veränderungen 1989 in Osteuropa und andererseits durch den EU-Beitritt 1995, sowie die EU-Erweiterung 2004 zurückzuführen. Wirtschaftlich gesehen rückte Österreich dadurch immer mehr in den Mittelpunkt Europas und der EU und wurde zunehmend zum Transitland, siehe Abbildung 2.4. Über den Anteil des Transitverkehrs am Güterverkehr in Österreich gibt Abbildung 2.5 Auskunft.

Besonders ab 1990 ist ein vermehrter Güterverkehr in Österreich zu verzeichnen (siehe Abbildung 2.3) [8]. Diese Entwicklung steht in direktem Zusammenhang mit dem konjunkturellem Aufschwung der 90er-Jahre [8]. Die wirtschaftliche Entwicklung Österreichs, seiner Handelspartner, sowie Europas im Generellen ist daher eng mit dem Güterverkehrsaufkommen verflochten. Aus diesem Grund basieren auch die Modelle zur Prognose des zukünftigen Güterverkehrs des BMVIT [8] auf Wirtschaftsmodellen. Diesen Zusammenhang belegen auch Zahlen des BMVIT aus dem Jahr 2011 [9], wonach die Transportleistung im Straßengüterverkehr im EU-27-Raum von 2000 bis 2007 um 28 %, das heißt etwa 4 % pro Jahr, anstieg und in den Jahren 2007 bis 2009, infolge der Wirtschaftskrise 2008, wiederum um 20 % sank.

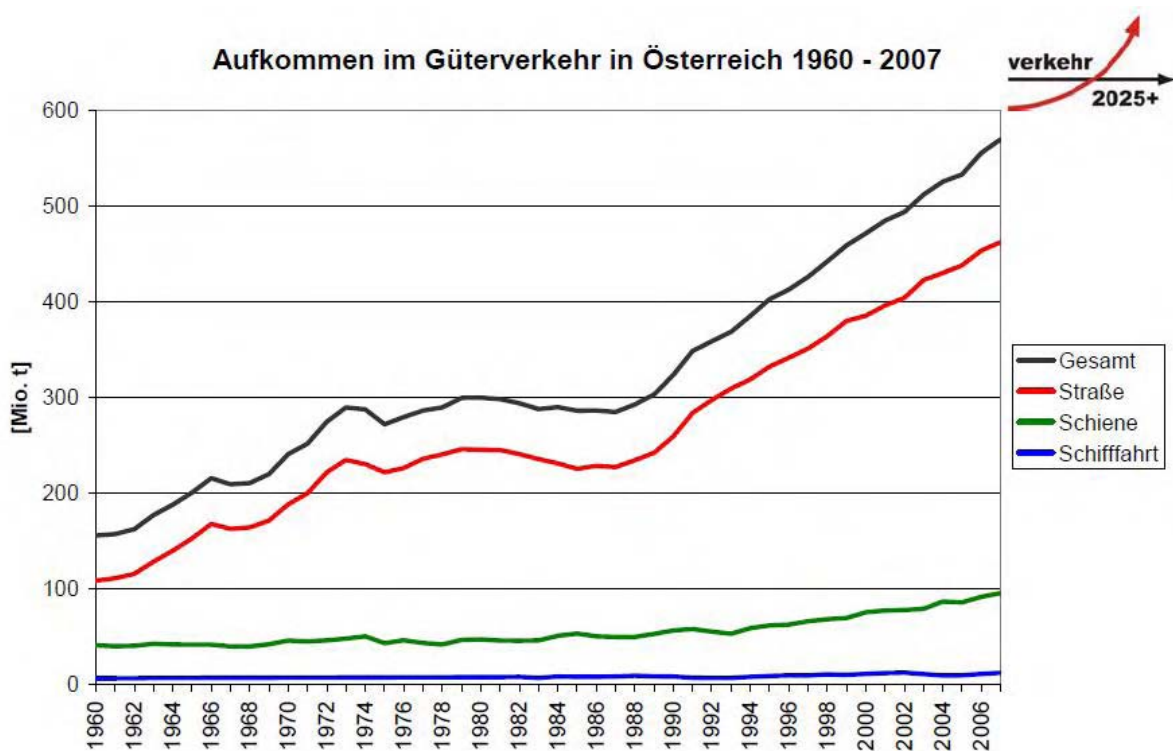


Abbildung 2.3: Aufkommen im Güterverkehr in Österreich 1960 - 2007 aus BMVIT [8]

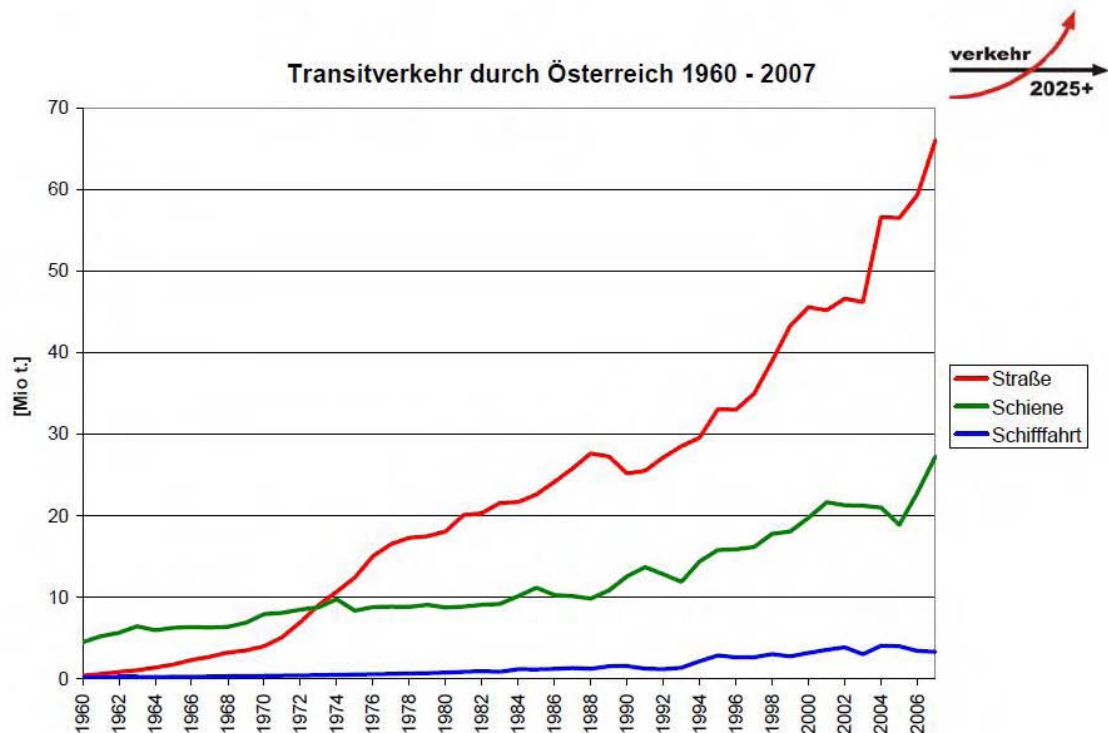
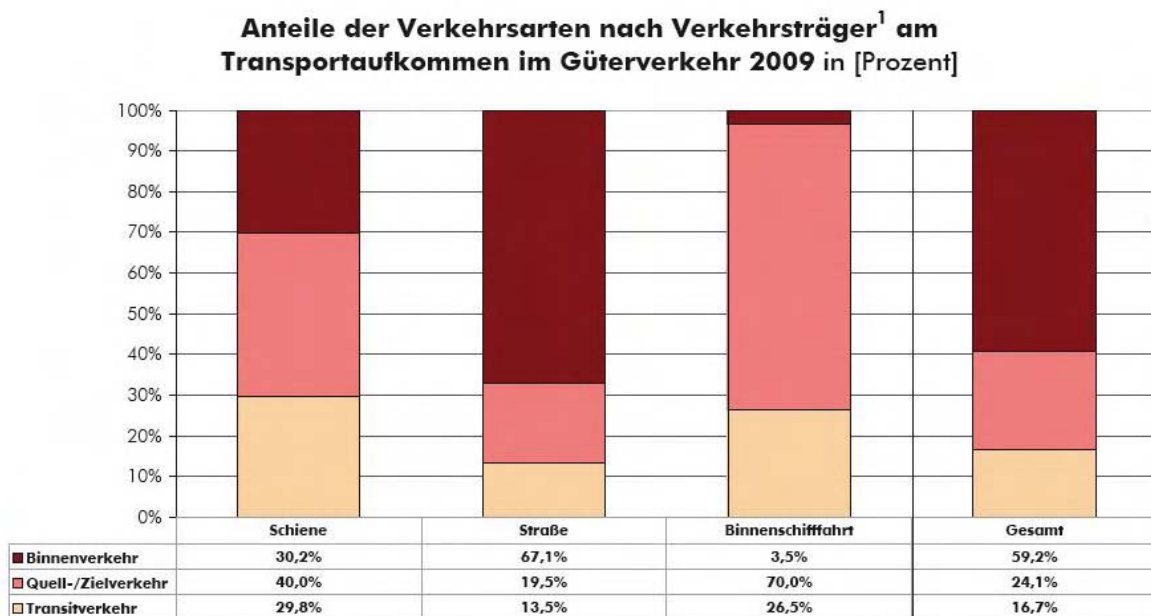


Abbildung 2.4: Transitverkehr durch Österreich 1960 - 2007 aus BMVIT [8]



<sup>1</sup> Auf die Darstellung der Relationen der Rohrleitungen wurde verzichtet, da keine Daten über Binnen- und Transitverkehr verfügbar sind.  
Anmerkung: Da mit Nachkommastellen gerechnet wurde, können in der Summe Rundungsdifferenzen auftreten.

Quelle: Statistik Austria; Eurostat; BMVIT; eigene Berechnungen

Abbildung 2.5: Anteile der Verkehrsarten nach Verkehrsträger am Transportaufkommen im Güterverkehr 2009 aus BMVIT [10]

# 3 | Datengrundlage

## 3.1 Allgemeines

In der vorliegenden Arbeit wird die Zielsetzung verfolgt, auf Grundlage von Daten im ASFiNAG-Netz eine maßgebliche Verkehrsbeanspruchung zu definieren. Hierbei wurden aufgrund der höheren schädigenden Wirkung nur Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht größer als 3,5 t (Schwerverkehr) berücksichtigt. Als Datengrundlage stehen unter anderem Mautdaten am ASFiNAG-Netz zur Verfügung. Damit kann die flächendeckende Verteilung des Schwerverkehrs erfasst werden. Des Weiteren werden Daten zum Gesamtgewicht und der Achslastverteilung in die Betrachtungen miteinbezogen, die im Rahmen von Bridge-Weigh-in-Motion (BWIM) -Messungen erhoben wurden. Einleitend wird noch ein Überblick über die gesetzlichen Grundlagen, sowie die Straßenverkehrszählung in Österreich gegeben.

## 3.2 Gesetzliche Grundlagen und Begriffsbestimmungen

Die gesetzlichen Grundlagen dieser Arbeit sind im Wesentlichen in den Gesetzestexten des KFG 1967 [20] sowie des BStMG [12] enthalten. In diesem Kapitel sollen kurz die wichtigsten Punkte dazu erläutert, sowie zentrale Begriffsbestimmungen dieser Arbeit definiert werden.

Laut Bundesstraßen-Mautgesetz 2002, BStMG §6 [12], ist für mehrspurige Kraftfahrzeuge mit einem höchsten zulässigen Gesamtgewicht größer als 3,5 t eine fahrleistungsabhängige Maut zu entrichten. In §9 [12] sind die darauf anzuwendenden Mauttarife festgelegt. Demzufolge sind die Mauttarife nach Anzahl der Achsen der Kraftfahrzeuge und der von diesen gezogenen Anhänger gegliedert. Es wird unterschieden zwischen:

- Kraftfahrzeuge mit zwei Achsen
- Kraftfahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit drei Achsen
- Kraftfahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit vier und mehr Achsen

Laut BStMG §9 Abs 3 [12] sind Achsen unabhängig vom Radstand alle Aufhängungen von Rädern, die im Wesentlichen symmetrisch zur Längsmittlebene des Fahrzeuges liegen.

Stützachsen gelten nicht als Achsen. Achsen von Anhängern, die von Omnibussen gezogen werden, sind bei der Ermittlung der Achsenzahl nicht zu berücksichtigen.

Es gilt noch zu erwähnen, dass die Mauttarife laut BStMG §9 Abs 5 [12] in weiterer Folge noch nach EURO-Emissionsklassen unterschieden werden. Diese Zusammenfassung zu Tarifgruppen erfolgt nach Artikel 7g Abs 1 und 4 der Richtlinie 1999/62/EG [36] sowie nach Anhang 0 derselbigen Richtlinie. Es gilt daher festzuhalten, dass die Einteilung der Mauttarife auf der Anzahl der Achsen der Kraftfahrzeuge > 3,5 t basiert, sowie deren Zugehörigkeit zu den EURO-Emissionsklassen. In Abbildung 3.1 ist das Netz der Maut- und Vignetten pflichtigen Straßen in Österreich dargestellt. Die in dieser Abbildung erwähnte GO-Box ist ein System der ASFiNAG zur Einhebung der Maut des Schwerververkehrs. Jedes Fahrzeug mit mehr als 3,5t höchstzulässigem Gesamtgewicht, das im ASFiNAG-Netz unterwegs ist, muss diese GO-Box mitführen ASFiNAG [4].



Abbildung 3.1: Maut- und Vignettenpflichtige Strecken in Österreich ASFiNAG [3]

In KFG 1967 §2 Abs 1 Z 34, sowie §4 Abs 7 [20] ist festgelegt, dass als Achse auch zwei Achsen gelten können, falls deren Radstand unter 1 m liegt. Die höchst zulässigen Achslasten sind in §4 Abs 8 vermerkt. Je nach Achsabstand von Tandem- bzw. Tridemachsen zueinander wird eine Gewichtsobergrenze für die Summe ihrer Achslasten festgelegt.

Abschließend zu diesem Kapitel werden in Tabelle 3.1 alle zentralen Begriffe der vorliegenden Arbeit definiert. Es handelt sich dabei zum einen um Begriffe wie sie im Gesetzestext zu finden sind, und zum anderen um eigens für diese Arbeit definierte Begriffe.



Tabelle 3.1: Begriffsdefinitionen

Begriffsdefinitionen	
Achse	Als Achse gelten nach BStMG §9 Abs 3 [12], unabhängig vom Radstand, alle Aufhängungen von Rädern, die symmetrisch zur Längsmittlebene des Fahrzeuges liegen. Wohingegen im KFG 1967 §4 Abs 7 [20] als Achse auch zwei Achsen gelten können, falls deren Radstand unter 1 m liegt. Letztere Definition wird vor allem für die Regelung des höchst zulässigen Gesamtgewichtes verwendet, das unter anderem von der Achsanzahl abhängig ist.
Achslast	„Achslast die Summe aller bei stehendem Fahrzeug auf eine waagrechte, ebene Fahrbahn wirkenden Radlasten einer Achse oder zweier Achsen mit einem Radstand bis zu 1 m.“, gemäß §2 Abs 1 Z 34 KFG 1967
Tandem- od. Doppelachse	Als Doppelachse gelten nach KFG 1967 §4 Abs 8 [20] zwei Achsen mit einem Radstand bis zu 1,8 m.
Tridem- od. Dreifachachse	Als Dreifachachse gelten nach KFG 1967 §4 Abs 8 [20] drei Achsen mit einem Radstand bis zu 1,4 m.
Achsaggregat	Achsaggregat ist ein Überbegriff für alle Achskonstellationen. Ein Achsaggregat kann demnach eine Einzel-, eine Tandem- oder auch eine Tridemachse sein.
Fahrzeugklasse FK	Häufig auch VC für Vehicle Class (engl.). Unter Fahrzeugklassen versteht man charakteristische Fahrzeugtypen, die sich durch ihre Achskonfiguration unterscheiden. Die Einteilung erfolgt gemäß PETSCHACHER [34].
Fahrzeuggruppe FG	Das BStMG §9 Abs 2 [12] unterscheidet die Fahrzeuggruppen 2-, 3 und 4+-Achser, denen alle mehrspurigen Kraftfahrzeuge > 3,5 t zugeordnet werden können.
Kollektiv	Gesamtheit der auftretenden Kraftfahrzeuge > 3,5 t, die einen definierten Straßenabschnitt passieren.

## 3.3 Straßenverkehrszählung in Österreich

### 3.3.1 Automatische und händische Straßenverkehrszählung im A-, S- und B-Netz

Bei Straßenverkehrszählungen auf dem Autobahnen-, Schnell- und Bundesstraßennetz, wie auch generell auf dem gesamten Straßennetz, unterscheidet man zwischen automatischen und händisch erhobenen Zählungen.

Bei den automatischen STVZ gibt es mobile und permanent installierte Geräte. Die permanenten Geräte werden auch Dauerzählstellen genannt und sind auf Autobahnen und Schnellstraßen installiert. Ein Archiv der Messungen der Dauerzählstellen für die Jahre 2008 bis 2012, sowie der Zählungen des laufenden Jahres wird online von der ASFiNAG in Kooperation mit dem BMVIT bereitgestellt [5]. Die Dauerzählstellen liefern Daten zu Lage, Bezeichnung und Verkehrsrichtung der Zählstelle und zur erfassten Datenqualität. Es wird unterschieden zwischen KFZ, KFZ > 3,5 t hzG (höchst zulässiges Gesamtgewicht) und KFZ ≤ 3,5 t hzG. Die Anzahl an KFZ, KFZ > 3,5 t hzG bzw. KFZ ≤ 3,5 t hzG wird pro 24 h angegeben (DTV) und erfolgt für die Zeiträume:

- Mo-So
- Mo-Fr
- Mo
- Di-Do
- Fr
- Sa
- Sonn- und Feiertage

Bei den dafür eingesetzten Technologien handelt es sich laut BMVIT [7] um Induktivschleifen, Seitenradargeräte und oberhalb der Fahrstreifen montierte Sensoren.

Im Rahmen des Berichts zur Straßenverkehrszählung 2010 BMVIT [7] wird zusätzlich noch auf mobile automatisch arbeitende Zählgeräte eingegangen, welche das Zählstellennetz verdichten und die im Jahr 2000 noch manuell durchgeführten Zählungen vollständig ersetzen [7]. Bei mobilen Zählgeräten handelt es sich bei den dadurch gewonnenen Daten immer um Stichproben. Zur Messung der Verkehrsstärken werden Seitenradargeräte oder Zählplatten verwendet [7]. Bei der Straßenverkehrszählung 2010 BMVIT [7] betrug die Zählzeit immer 24 h oder länger. Das hat den unbestreitbaren Vorteil gegenüber den früheren manuell durchgeführten Zählungen, dass keine Hochrechnung der Stichproben auf den Tagesverkehr mehr notwendig ist und sich die Zählgenauigkeit somit erhöht [7]. Der Nachteil dieser automatisch arbeitenden mobilen Messgeräte ist, dass sie kaum eine Unterscheidung der Fahrzeugarten zulassen und die Fahrzeuge nur nach Längen unterscheiden können [7].

Eine Straßenverkehrszählung, wie die des BMVIT [7] aus dem Jahr 2010 wird auf Initiative der ECE (Economic Commission for Europe) alle fünf Jahre durchgeführt. Die ECE ist dabei hauptsächlich an den Europastraßen (E-Straßen) interessiert. Die Straßenverkehrszählungen in Österreich erfolgen jedoch auf dem gesamten Autobahnen-, Schnell- und Bundesstraßennetz [7]. Das Schema zur bundesweiten Straßenverkehrszählung war im Jahr 2000 noch einheitlich. Seit dem Bundesstraßenübertragungsgesetz [6] im Jahr 2002 werden die Verkehrszählungen von der ASFiNAG und den Ländern in unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Dichte durchgeführt [7]. Dieser Neugestaltung der Verkehrszählungen, ausgelöst durch den veränderten Zuständigkeitsbereich, war zwar zum Zeitpunkt der STVZ 2005 noch in der Aufbauphase. Im Jahr 2010 war diese Transformation bereits abgeschlossen und das Zählstellennetz im Vergleich zu den Jahren 2000 und 2005, sowohl hinsichtlich permanenter als auch mobiler automatischer Zählgeräte, stark verdichtet worden [7].

Manuelle Straßenverkehrszählungen kommen heutzutage am Autobahnen-, Schnell- und Bundesstraßennetz nicht mehr zur Anwendung [7]. Im Bericht zur ÖSTERREICHISCHEN VERKEHRSSTATISTIK 2010 der Statistik Austria halten KARNER et al. [19] fest, dass Daten der händischen Straßenverkehrszählung in fünfjährigen Abständen vorliegen, allerdings nur bis zum Jahr 2000. Um dennoch einen Einblick in die Methodik der händischen STVZ zu bekommen wird auf den Bericht zur STRASSENVERKEHRSZÄHLUNG 2000 [37] der Statistik Austria zurückgegriffen. Demzufolge wurden im Jahr 2000 an insgesamt 1244 Querschnitten im Autobahnen-, Schnell- und Bundesstraßennetz kurze Stichprobenzählungen durchgeführt. „Die Stichproben wurden an zehn Tagen während einer Zählzeit von insgesamt 36 Stunden erhoben. Dies entspricht einem Anteil von nur 4,1 ‰ der Jahreszeit.“ [37] 14 % dieser Querschnitte wurden mit permanent installierten Zählgeräten erfasst, der Rest wurde händisch durchgeführt [37]. „Auf den Daten dieser Zählungen basiert die Hochrechnung der 16-Stunden-Verkehrsstärken auf den durchschnittlichen Jahresverkehr.“ [37] Bei den händischen Zählungen konnte unterschieden werden zwischen [37]:

#### *Personenverkehr*

- einspurige Kraftfahrzeuge
- Personenkraftwagen ohne Anhänger
- Personenkraftwagen mit Anhänger
- Autobusse und Obusse

#### *Güterverkehr*

- Lieferwagen
- Lastkraftwagen ohne Anhänger
- Lastkraftwagen mit Anhänger und Sattelzugfahrzeuge
- sonstiger Güterverkehr

#### *Spezialfahrzeuge*

Das Hochrechnungsschema der Stichproben auf den JDV bzw. JDTV ist in Abbildung 3.2 zu sehen. Bei der Straßenverkehrszählung 2000 [37] wurden außerdem die Abweichungen der Hochrechnungen der händischen Zählungen auf den JDTV den Werten der automatischen Zählungen gegenübergestellt, dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

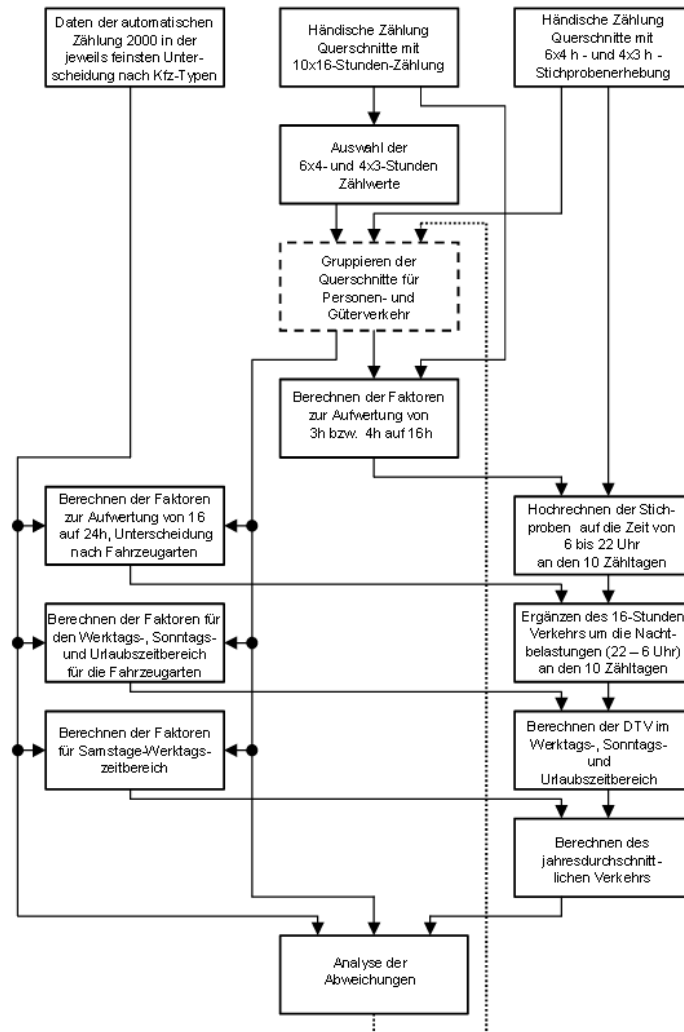


Abbildung 3.2: Hochrechenschema der händischen Straßenverkehrszählung 2000 [37]

### 3.3.2 Mautdaten

Mautdaten werden an automatischen Zählmesstellen im ASFiNAG-Netz erhoben. Im Gegensatz zu den Daten herkömmlicher Verkehrszählungen wird bei Mautdaten eine Differenzierung des Schwerverkehrs gemäß BStMG [12] vorgenommen. Somit ergibt sich eine Einteilung der Mautdaten nach Schwerverkehrsfahrzeugen mit zwei und drei, sowie nach vier und mehr Achsen. Der besondere Wert dieser Daten liegt in der hohen Qualität, der flächendeckenden Verfügbarkeit für das gesamte ASFiNAG-Netz und der regelmäßigen

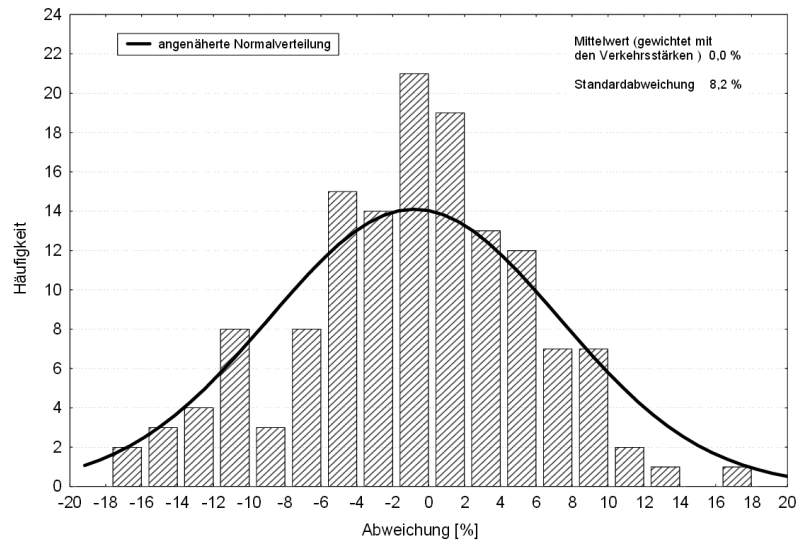


Abbildung 3.3: Abweichung des basierend auf den 3- und 4-Stunden-Stichproben berechneten jahresdurchschnittlichen täglichen Verkehrs von den Werten der automatischen Zählung [37]

bzw. fortlaufenden Erhebung der Messwerte. Im ASFiNAG-Netz stehen für 198 Messstellen (Stand: 2011) die Mautdaten aus den Jahren 2008 bis 2011 zur Verfügung. Da die Daten für beide Richtungsfahrbahnen erhoben werden, ergeben sich somit insgesamt 396 Messpunkte. In Abbildung 3.4 sind die Anteile der Fahrzeuggruppen am Gesamtschwerverkehrsaufkommen dargestellt. Die Daten sind absteigend nach dem Anteil der 4(+)-Achser sortiert.

Aus Abbildung 3.4 wird ersichtlich, dass die Anteile der Fahrzeuggruppen für verschiedene Autobahnabschnitte deutliche Unterschiede aufweisen. Aus den unterschiedlichen Anteilen der Fahrzeuggruppen ist auf eine Verschiedenartigkeit der Verkehrszusammensetzung zu schließen, da anzunehmen ist, dass sich mit steigendem Transportaufkommen und Transportweite die charakteristischen Kollektive ändern und die Fahrzeuge im Schnitt mehr Achsen mit höheren Achslasten aufweisen. Somit liegt die Vermutung nahe, dass Transit- bzw. Fernverkehr besonders Abschnitten mit hohem 4(+)-Achser-Anteil zuzuordnen ist, wohingegen der Nahverkehr eher auf Abschnitten mit geringerem 4(+)-Achser-Anteil dominiert. Eine eindeutige Einteilung des Verkehrs in Binnen- und Transitverkehr kann anhand der Mautdaten jedoch nicht vorgenommen werden.

### 3.3.3 Bridge-Weigh-in-Motion-Messungen

„Weigh-in-motion (WIM) wurde ursprünglich verwendet, um das Gewicht von Fahrzeugen, die mit Autobahngeschwindigkeit fahren, zu messen. WIM-Systeme bieten detaillierte Daten über Bruttogewicht, Achslasten, Geschwindigkeit und Achsabstand für nahezu alle Fahrzeuge, welche das System passieren. Brücken-WIM (BWIM) ist eine Sonderform von WIM, die existierende instrumentierte Brücken aus dem Straßennetzwerk als Wiege-

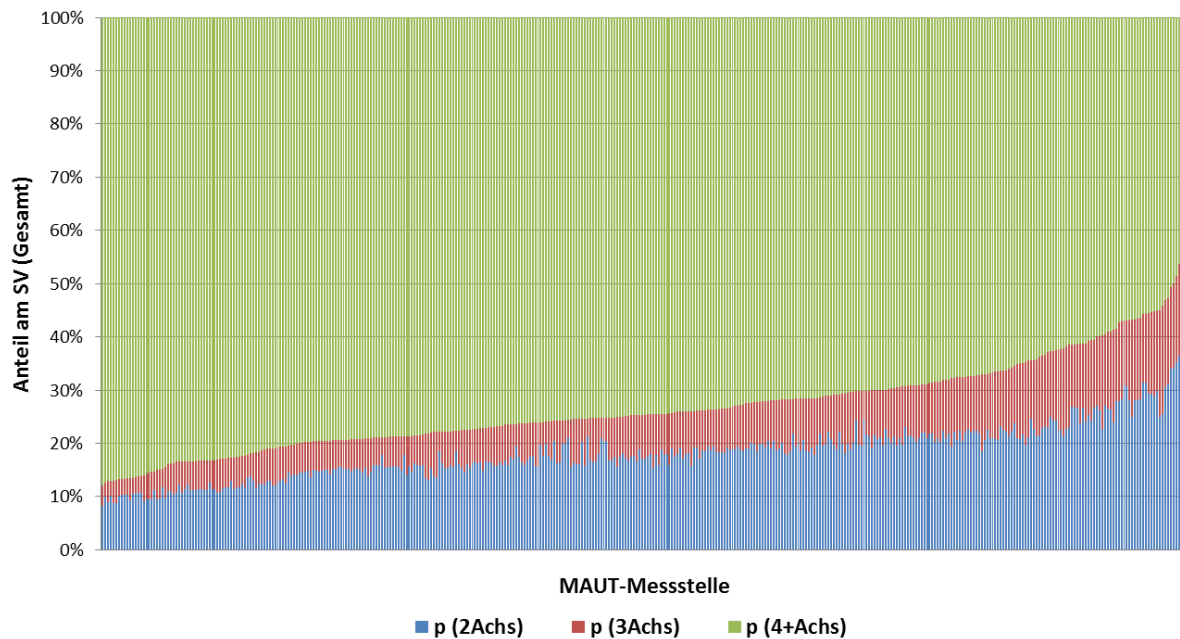


Abbildung 3.4: mittlerer Anteil der Fahrzeuggruppen 2-, 3- und 4(+)-Achser für 198 Messstellen im ASFiNAG-Netz für die Jahre 2008-2011; SV = Schwerverkehr

plattformen nutzt.“ PETSCHACHER [34]. Bei den vorliegenden Bridge-Weigh-in-Motion-Messungen (BWIM) wurden demzufolge an Brückenbauwerken mithilfe einer installierten Messsensorik die Achslasten und somit das Gesamtgewicht der überfahrenden Fahrzeuge unter laufendem Verkehr erfasst. Des Weiteren erlaubte es die Messsensorik, die Achskonfiguration zu erfassen und anhand dieser spezifische Fahrzeugtypen festzulegen. Abbildung 3.5 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Messergebnisse. Die Grafik zeigt die Verteilung unterschiedlicher Gesamtgewichte nach Fahrzeugtypen und nach Fahrbahn an einem Montag im Mai 2009 auf der A9.

Im Rahmen des gegenständlichen Projektes liegen aus den Jahren 2008 bzw. 2009 Messdaten von jeweils einem Brückenobjekt auf der A9, A10 und A12 vor, die im Zuge einer ASFiNAG-Studie erhoben und in PETSCHACHER [34], [35], [33] aufbereitet wurden. Abbildung 3.6 gibt einen Überblick über die Lage der Messstellen in Österreich. Der Zeitraum der Messungen war auf ein bis zwei Wochen beschränkt. Somit weisen diese Daten einen stichprobenhaften Charakter auf. Über die Repräsentanz der Messstellen gibt Abbildung 3.7 Auskunft. Es sind der jährlich durchschnittliche Schwerverkehr für alle 198 Messstellen, sowie die Lage der Messstellen in der Verteilung ersichtlich. Demnach befinden sich die drei Messstellen an Standorten mit mittlerer (absoluter) Verkehrsbelastung.

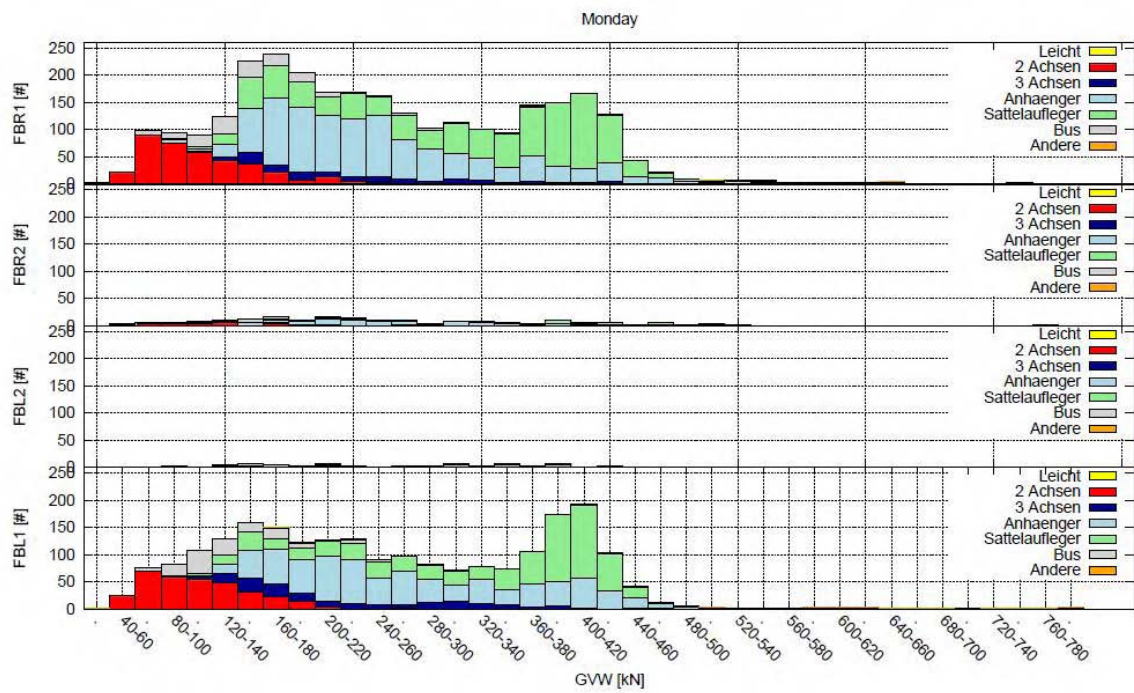


Abbildung 3.5: Schwerverkehr nach Gewicht; Montag, Mai 2009, A9; GVW = gross vehicle weight, FBR = Fahrbahn rechts, FBL = Fahrbahn links

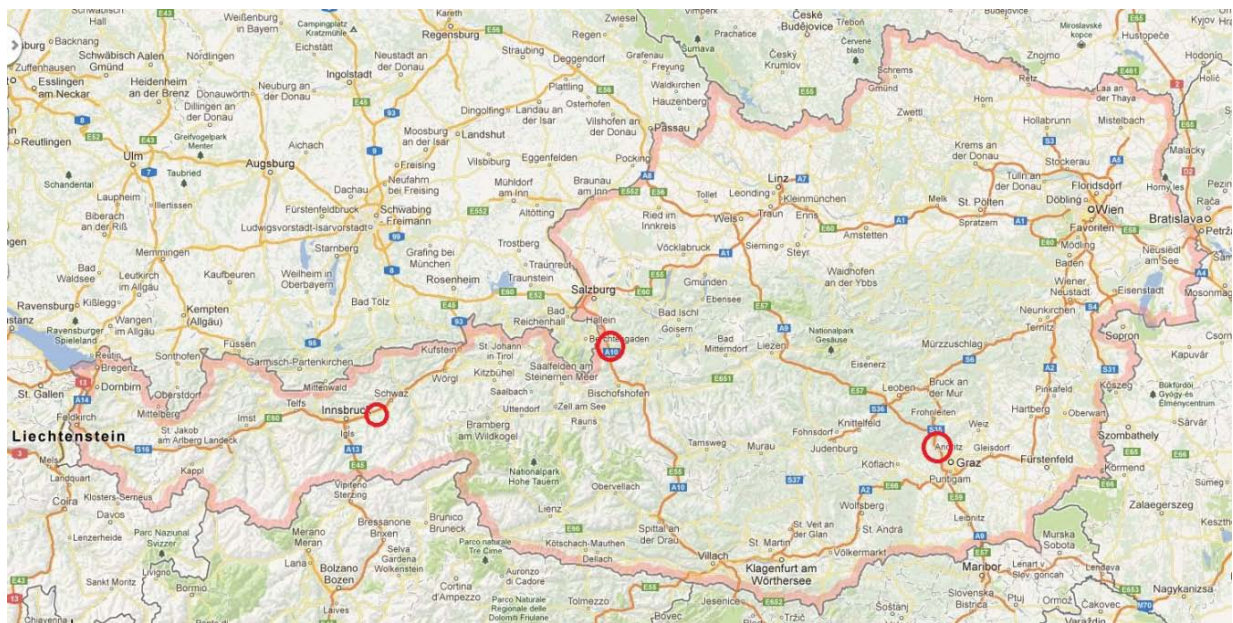


Abbildung 3.6: Übersicht der BWIM-Messtellen in Österreich

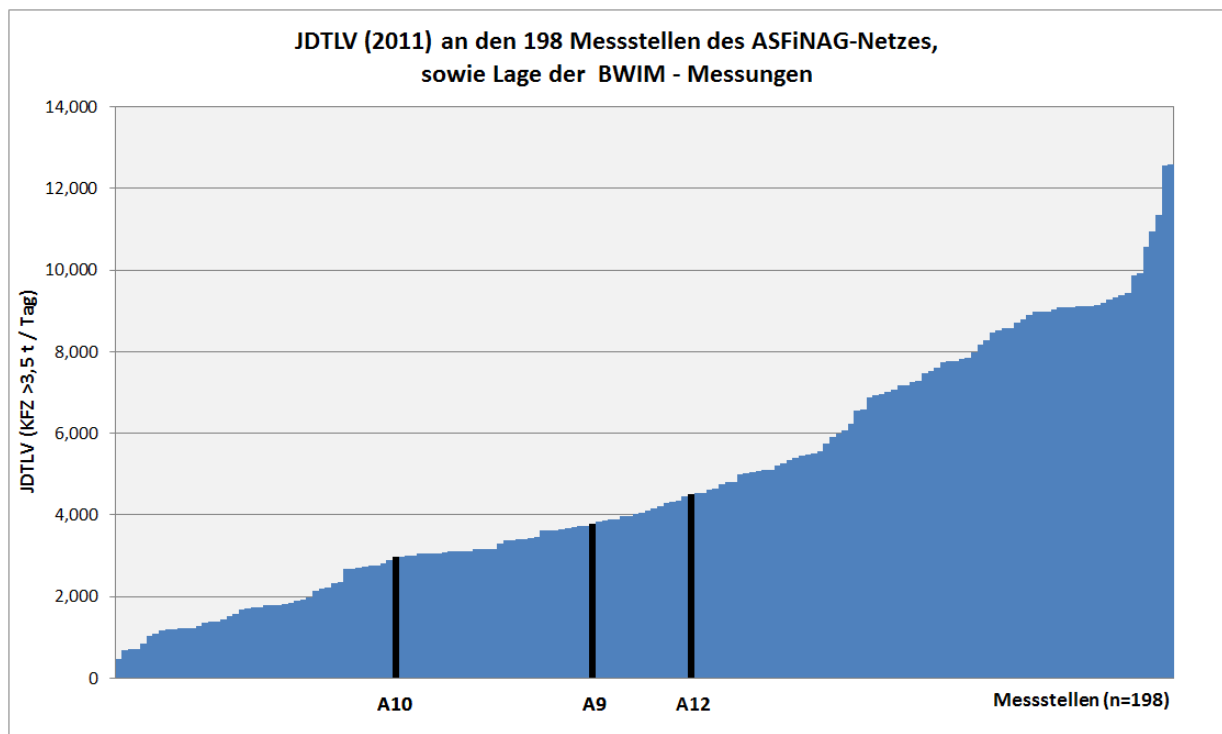


Abbildung 3.7: Verteilung des jährlichen durchschnittlichen täglichen Lastverkehrs (JDTLV) für sämtliche 198 Messstellen, sowie Lage der BWIM-Messungen

## 3.4 Datenauswertung

Um die Mautdaten, sowie die Daten aus den BWIM-Messungen als Grundlage für diese Arbeit verwenden zu können, werden sie in diesem Kapitel ausgewertet.

### 3.4.1 Fahrzeuggruppeneinteilung

Die Einteilung zu Fahrzeuggruppen erfolgt gemäß der schon aus dem BStMG [12] bekannten Einteilung zu 2-, 3- und 4+-Achser, wobei die Definition der Achse unabhängig vom Radstand der Achsen nach BStMG §9 Abs 3 [12] erfolgt.








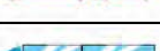
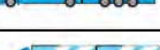



### 3.4.2 Fahrzeugklasseneinteilung

Eine weitere Differenzierung erfolgt nun innerhalb der Fahrzeuggruppen zu Fahrzeugklassen, auch Vehicle Classes genannt. Diese Einteilung wird gemäß PETSCHACHER [34] durchgeführt. Wie bereits erwähnt konnten durch die BWIM-Messungen der ASFiNAG Informationen zu Achslasten, Gesamtgewichte und Achsabstände der Schwerverkehrskollektive der A9, A10 und A12 gewonnen werden. Nach PETSCHACHER [34] erfolgt die Einteilung der Fahrzeuge zu Fahrzeugklassen hauptsächlich nach dem Achsabstand. Je-



doch wird für einige spezielle Fahrzeugtypen mit sehr ähnlichen Achsenverhältnissen noch eine weitergehende Differenzierung bezüglich Bruttogewicht und Nutzlast [34] durchgeführt. Diese Vorgehensweise kann mit dem Ziel argumentiert werden, möglichst homogene Fahrzeugklassen zu schaffen. Es gilt darauf hinzuweisen, dass für die Achsabstände einer Fahrzeugklasse Maximal- und Minimalwerte vorgegeben sind, innerhalb deren die Achsabstände eines Fahrzeuges liegen müssen, um der jeweiligen Fahrzeugklasse zugeordnet werden zu können. Eine Auflistung der maßgeblichen Fahrzeugklassen, VCs, nach Fahrzeuggruppen und Achsabständen ist in Tabelle 3.2 zu sehen. Außerdem sind in dieser Tabelle die Achsen zu Achsaggregaten zusammengefasst. Die Einteilung in Achsaggregate erfolgt gemäß KFG 1967 [20] und den BWIM-Berichten [34] [35] [33]. Basierend auf dem minimalen Achsabstand werden die Achsen Einzel-, Tandem- oder Tridemachsaggregaten zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt nach den Grenzwerten in Tabelle 3.3.

Tabelle 3.2: Einteilung der Fahrzeugklassen nach Achsabständen

Einteilung der Fahrzeugklassen			Legende: Einzel Tandem Tridem						
			Achsaggregate und Achsabstände [m]						
Fahrzeuggruppe	Fahrzeugklasse	Bezeichnung	Achse 1	Achse 2	Achse 3	Achse 4	Achse 5		
2-Achser		VC40	Achsaggregat	Einzel	Einzel				
			Minimal		3,10				
3-Achser		VC51	Achsaggregat	Einzel	Tandem				
			Minimal		2,80	1,25			
	Maximal		4,00	1,75					
		VC54	Achsaggregat	Einzel	Tandem				
			Minimal		4,00	1,25			
	Maximal		5,30	1,75					
	VC100	Achsaggregat	Einzel	Einzel	Einzel				
		Minimal		2,60	2,40				
Maximal		5,30	10,00						
4+-Achser		VC57	Achsaggregat	Tandem		Tandem			
			Minimal		0,90	2,20	0,90		
	Maximal		2,20	6,00	2,40				
		VC61	Achsaggregat	Einzel	Einzel	Tandem			
			Minimal		3,00	6,00	0,90		
	Maximal		8,00	10,00	2,40				
		VC62	Achsaggregat	Einzel	Einzel	Einzel	Einzel		
			Minimal		3,00	2,40	2,40		
	Maximal		8,00	9,90	9,90				
		VC74	Achsaggregat	Einzel	Einzel	Tridem			
			Minimal		3,30	6,00	0,90	0,90	
	Maximal		6,50	10,00	1,75	1,75			
	VC81	Achsaggregat	Einzel	Tandem		Tandem			
		Minimal		2,20	0,90	6,00	0,90		
Maximal		7,00	1,75	10,00	1,75				
	VC82	Achsaggregat	Einzel	Tandem		Tandem			
		Minimal		2,20	0,90	6,00	1,75		
Maximal		7,00	1,75	10,00	2,40				
	VC83	Achsaggregat	Einzel	Tandem		Einzel	Einzel		
		Minimal		3,60	0,90	2,40	2,40		
Maximal		6,00	1,75	10,00	9,00				
	VC113	Achsaggregat	Einzel	Einzel	Tridem				
		Minimal		2,20	2,00	1,25	0,90		
Maximal		5,00	6,00	2,40	1,75				

Fahrzeuggröße nicht maßstabsgetreu

Tabelle 3.3: Einteilung der Achsen zu Achsaggregaten gemäß KFG 1967 [20] und den BWIM Berichten [34] [35] [33]

minim. Achsabstand	Achsabstände der Achsaggregate [m]		
	Einzel	Tandem	Tridem
>=	1,81	0,00	0,00
<=	-	1,80	1,40

Die Auswahl dieser maßgeblichen Fahrzeugklassen geschah in Anlehnung an BASt Bericht S61 von WOLF und FIELENBACH [40]. Aus Gründen der Zweckmäßigkeit, werden ausschließlich Fahrzeugklassen mit einem Anteil > 1% am Gesamtschwerverkehrsaufkommen berücksichtigt und die verbleibende Rest-Wahrscheinlichkeit diesen Fahrzeugklassen zugeordnet. Die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen wurden den BWIM-Berichten [34] [35] [33] entnommen und sind in Tabelle 3.4 zusammengefasst. Die Auftrittshäufigkeit des VC51 auf der A9 war in PETSCHACHER [34] nicht angegeben, sie konnte jedoch mittels der Kenntnis der Häufigkeiten anderer Fahrzeugklassen rückgerechnet werden und ist deswegen in Tabelle 3.4 in Rot dargestellt.

Tabelle 3.4: Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen laut den BWIM-Berichten von PETSCHACHER [34] [35] [33]

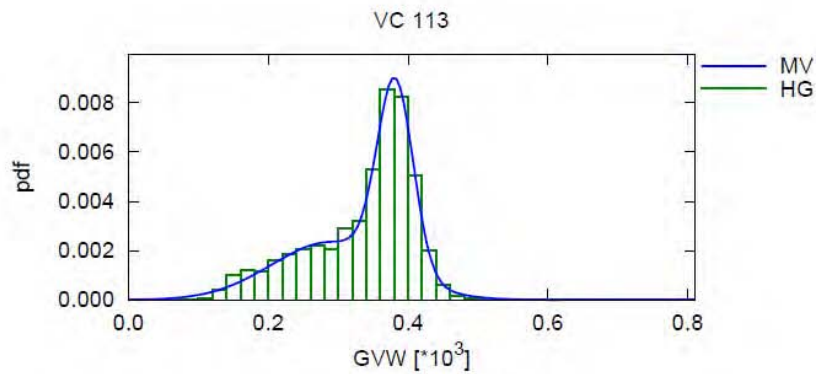
Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen laut den BWIM-Berichten												
	VC											
	40	51	54	57	61	62	74	81	83	113	100	82
A9	0,1460	0,0176	0,0245	0,0233	0,1360	0,1010	0,0468	0,0290	0,0666	0,2860	0,0333	-
A10	0,1319	0,0182	0,0158	0,0220	0,1067	0,0770	0,0778	0,0230	0,0457	0,3119	0,0338	0,0119
A12	0,1067	0,0313	0,0315	0,0220	0,0981	0,0256	0,1053	0,0197	0,0481	0,4618	0,0075	0,0102

### 3.4.3 Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeugklassen

In PETSCHACHER [34] werden zur Auswertung der BWIM-Daten für jede Fahrzeugklasse und für jeden Streckenabschnitt Histogramme erstellt, die die Häufigkeiten der Gesamtgewichte angeben. An diese Histogramme werden bimodal gemischte Normalverteilungen nach Gleichung 3.1 angenähert, wobei  $g_1$  bzw.  $g_2$  für die Gewichtungsfaktoren der beiden Normalverteilungen stehen und  $\mu_1$  bzw.  $\mu_2$  und  $\sigma_1$  bzw.  $\sigma_2$  für deren Mittelwerte und Standardabweichungen. Die Anwendung dieses Modells ist am Beispiel von VC113 in der oberen Hälfte von Abbildung 3.8 illustriert. Der untere Teil der Abbildung zeigt die Achslastkoeffizienten  $\alpha$  und  $\beta$  zur Ermittlung der Achslasten aus dem Gesamtgewicht. Dieser Vorgang wird im nächsten Kapitel noch genauer behandelt. Die Parameter für die Ermittlung der Gesamtgewichtsverteilungen sind in Tabelle 3.5 für alle Fahrzeugklassen und alle Kollektive angegeben. Die Klasseneinteilung der bimodal gemischten Normalverteilung erfolgt nach dem Gesamtgewicht in kN und die Bezeichnung einer Klasse erfolgt nach dessen Obergrenze. Die Klassenbreite liegt bei 10 kN und die Klassen reichen von 5 bis 585 kN, siehe Tabelle 3.6.

$$f(x) = g_1 N_1(\mu_1, \sigma_1) + g_2 N_2(\mu_2, \sigma_2) \tag{3.1}$$

**VC 113**



GVW~Mixed(0.5056\*N(289.9,85.79), 0.4944\*N(381.5,25.64))

(a) Regression und Streuung				(b) Korrelation				
A	$\alpha$	$\beta$	$\sigma_c$	1	2	3	4	5
1	0.0606	49.9	10.1	1	-0.117	-0.374	-0.537	-0.459
2	0.255	-2.36	12.7	2	1	-0.552	-0.75	-0.549
3	0.219	-16.7	6.59	3	-0.374	1	0.684	0.0898
4	0.228	-15.8	5.21	4	-0.537	-0.75	1	0.722
5	0.237	-15	7.27	5	-0.459	-0.549	0.0898	1

Abbildung 3.8: Beispiel für ein Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast [kN] (für VC113 auf der A9); pdf = probability density function, GVW = gross vehicle weight; PETSCHACHER [34]

Infolge der mathematischen Beschreibung der Häufigkeitsverteilung durch eine Normalverteilung, werden sehr hohe und niedrige Gesamtgewichte theoretisch auftretenden Häufigkeiten zugewiesen, die in Realität nicht auftreten. So ist ein Gesamtgewicht unter dem Fahrzeugleergewicht ebenso unwahrscheinlich wie extrem überladene Fahrzeuge mit einem Überladungsgrad >20 % des Gesamtgewichtes. Es ist daher zweckmäßig Gesamtgewichte mit einer Auftrittshäufigkeit <1% nicht zu berücksichtigen, jedoch die aufsummierten Häufigkeiten dieser Bereiche dem höchsten noch berücksichtigtem Gesamtgewicht zuzuschlagen, um Bemessungsreserven vorzusehen. In Abbildung 3.9 ist die Summe dieser Auftrittshäufigkeiten <1% in roter Farbe deutlich hervorgehoben.

### 3.4.4 Achslastverteilung der Fahrzeugklassen

Durch statistische Auswertung der Achslastmessungen werden für jede Fahrzeugklasse und jede Achse einzelne Achslastkoeffizienten  $\alpha$  und  $\beta$  bestimmt, mit deren Hilfe von der Ge-

Tabelle 3.5: Parameter zur Ermittlung der Gesamtgewichtsverteilungen der Fahrzeugklassen der Kollektive A9, A10 und A12













Parameter der Gesamtgewichtsverteilung			Parameter						
Fahrzeuggruppe	Fahrzeugklasse	Bezeichnung	Kollektiv	$g_1$	$\mu_1$	$\sigma_1^2$	$g_2$	$\mu_2$	$\sigma_2^2$
2-Achser		VC40	A9	0.4062	74.5300	14.4300	0.5938	124.6000	37.3700
			A10	0.3837	66.4100	16.2400	0.6163	114.7000	40.0700
			A12	0.7770	126.3000	36.7700	0.2230	69.8400	18.2000
3-Achser		VC51	A9	0.6852	250.8000	69.4600	0.3148	140.2000	25.2000
			A10	0.1597	110.5000	8.0020	0.8403	194.7000	53.0500
			A12	0.4803	236.5000	50.6800	0.5197	151.1000	28.1700
		VC54	A9	0.9194	190.3000	45.1800	0.0806	263.9000	66.4900
			A10	0.6602	187.8000	46.7200	0.3398	139.8000	19.6900
			A12	0.4068	225.4000	44.9600	0.5932	162.7000	35.9500
		VC100	A9	0.5981	207.4000	55.7700	0.4019	142.3000	17.8300
			A10	0.5688	128.1000	20.0100	0.4312	164.9000	61.8200
			A12	-	-	-	-	-	-
4+-Achser		VC57	A9	0.3543	150.7000	13.9100	0.6457	325.5000	76.9100
			A10	0.0051	564.8000	41.2500	0.9949	221.8000	75.7900
			A12	0.0293	424.0000	139.9000	0.9707	256.4000	89.8800
		VC61	A9	0.4205	258.4000	65.3900	0.5795	175.4000	32.0500
			A10	0.6608	239.9000	62.7200	0.3392	159.1000	30.1900
			A12	0.3955	181.2000	41.8700	0.6045	262.6000	64.8200
		VC62	A9	0.6500	196.0000	36.7200	0.3500	309.8000	72.8400
			A10	0.5112	172.7000	33.6700	0.4888	268.2000	78.6800
			A12	0.8514	208.4000	49.2100	0.1486	302.3000	68.9100
		VC74	A9	0.0717	367.3000	158.4000	0.9283	317.1000	85.7900
			A10	0.5871	293.8000	87.0000	0.4129	381.4000	33.5200
			A12	0.6803	295.2000	84.7200	0.3197	404.9000	32.8800
		VC81	A9	0.6078	324.5000	73.0900	0.3922	242.6000	44.0400
			A10	0.3526	235.2000	36.5800	0.6474	306.4000	77.6300
			A12	0.3738	254.4000	58.5900	0.6262	336.9000	64.9300
		VC82	A9	-	-	-	-	-	-
			A10	0.4818	226.5000	28.9300	0.5182	326.5000	59.2900
			A12	-	-	-	-	-	-
	VC83	A9	0.4380	234.5000	41.5400	0.5620	362.6000	76.3700	
		A10	0.6781	320.4000	70.6300	0.3219	193.2000	30.7600	
		A12	0.4897	247.3000	48.9500	0.5103	380.4000	67.3700	
	VC113	A9	0.5056	289.9000	85.7900	0.4944	381.5000	25.6400	
		A10	0.4327	364.2000	34.4100	0.5673	279.4000	83.4600	
		A12	0.3806	407.1000	34.9400	0.6194	305.7000	88.7900	
Fahrzeuggröße nicht maßstabsgetreu									

Tabelle 3.6: Klasseneinteilung der Gesamtgewichtsverteilung

Bezeichnung	Klassengrenzen
5 kN	$\leq 5 \text{ kN}$
15 kN	$> 5 \text{ kN} \leq 15 \text{ kN}$
25 kN	$> 15 \text{ kN} \leq 25 \text{ kN}$
·	·
·	·
·	·
585 kN	$\leq 575 \text{ kN} \leq 585 \text{ kN}$

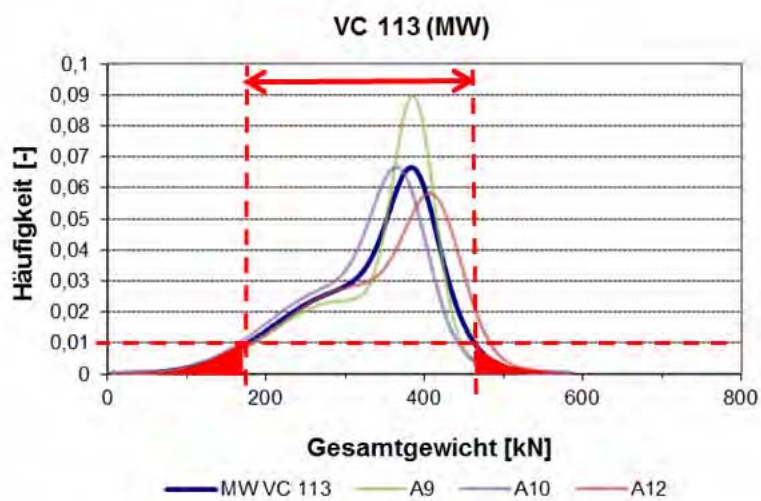


Abbildung 3.9: Gesamtgewichtsverteilung am Beispiel des VC113 mit Markierung jener Gesamtgewichtsfälle, deren Auftretshäufigkeiten unter einem Prozent liegen

samtgewichtsverteilung auf die Achslastverteilung geschlossen werden kann (siehe Gleichung 3.2).  $\mu_i$  gibt den Mittelwert der i-ten Achslast an (zählend von der vordersten Achse),  $Q_i$  gibt die Achslast der i-ten Achse an,  $W$  steht für das LKW-Gesamtgewicht und  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  sind die Achslastkoeffizienten der i-ten Achse. Für jede Fahrzeugklasse gilt:  $\sum \alpha_i = 1$  und  $\sum \beta_i = 1$ . Abbildung 3.8 zeigt ein Beispiel dieser Achslastkoeffizienten für VC113 auf der A9.

$$\mu_i(Q_i | W_i) = \beta_i + \alpha_i \cdot W \tag{3.2}$$

Die Achslastkoeffizienten  $\alpha$  und  $\beta$  liegen für die drei untersuchten Messabschnitte auf A9, A10 und A12 vor. In Abbildung 3.10 sind beispielhaft die Achslasten der 2. Achse der Fahrzeugklasse 113 (VC113) in Abhängigkeit des Gesamtgewichtes für die drei untersuchten Abschnitte dargestellt. Es zeigen sich lediglich im Bereich sehr geringer Gesamtgewichte, die das Fahrzeugleergewicht unterschreiten und daher nicht berücksichtigt werden, maßgebliche Unterschiede. Ähnliche Zusammenhänge liegen für andere Fahrzeugklassen vor. Somit kann auf eine Unterscheidung der Achslastkoeffizienten nach Messabschnitten verzichtet werden und vereinfachend der Mittelwert daraus herangezogen werden.

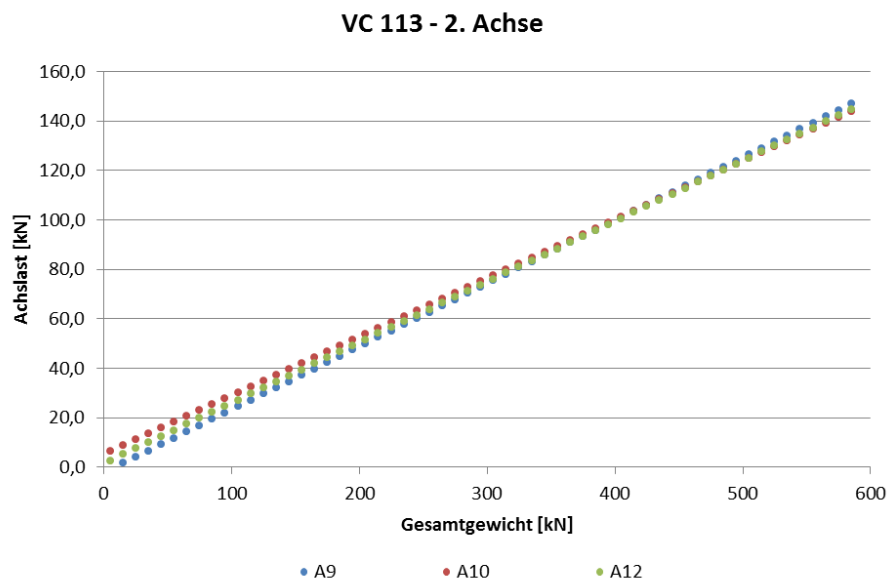














Abbildung 3.10: Achslasten der 2. Achse für die Fahrzeugklasse (VC) 113

Letztlich ist dieser Umstand durch die Beladungssituation der Fahrzeuge zu erklären, d.h. wie die transportierte Last auf dem Fahrzeug positioniert wird. Aufgrund der mittlerweile eindeutigen Vorschriften in diesem Bereich, kann von einer gleichbleibenden Beladungssituation und damit gleichen Achslastkoeffizienten ausgegangen werden. Daher werden für die Fahrzeugklassen, getrennt für jede Achse, die Achslastkoeffizienten als Mittelwert aus den drei Streckenabschnitten gebildet. In Tabelle 3.7 sind die Achslastkoeffizienten für alle berücksichtigten Fahrzeugklassen angeführt.

Tabelle 3.7: Mittelwert der Achslastkoeffizienten aus A9, A10 und A12

Achslastkoeffizienten			Achslastkoeffizienten $\alpha_i$ und $\beta_i$ der i-ten Achse (Mittelwert aus A9, A10, A12)				
Fahrzeuggruppe	Fahrzeugklasse	Bezeichnung	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$
			$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
2-Achser		VC40	0,3567	0,6433			
			10,4033	-10,4033			
3-Achser		VC51	0,1987	0,3767	0,4243		
			27,7667	-10,5200	-17,2333		
		VC54	0,2010	0,4423	0,3570		
			28,2333	-13,3667	-14,8400		
		VC100	0,1610	0,4130	0,4260		
			32,1000	-18,0000	-14,1400		
4+-Achser		VC57	0,1683	0,1733	0,3093	0,3487	
			12,1100	12,9367	-10,6633	-14,3667	
		VC61	0,1013	0,3640	0,2607	0,2740	
			42,0000	-12,9967	-13,6000	-15,4333	
		VC62	0,1090	0,2933	0,2953	0,3023	
			34,9000	8,7300	-21,3333	-22,3333	
		VC74	0,0835	0,2430	0,2330	0,2233	0,2170
			41,6333	3,2337	-16,7000	-14,8333	-13,4000
		VC81	0,0938	0,2563	0,2020	0,2193	0,2283
			37,6667	-5,3367	-7,0967	-12,1667	-13,2667
	VC82	0,0738	0,3020	0,1680	0,2100	0,2450	
		39,9000	-10,1000	-7,2600	-9,2100	-13,4000	
	VC83	0,0961	0,2173	0,1850	0,2450	0,2560	
		36,9333	4,1033	-2,1100	-16,6333	-22,2333	
	VC113	0,0716	0,2457	0,2293	0,2260	0,2277	
		46,4333	1,3700	-16,7000	-15,5667	-15,4667	
Fahrzeuggröße nicht maßstabsgetreu							

## 4 | Untersuchungen zur Schädigungswirkung der maßgeblichen Verkehrsbelastung

Nach Ermittlung der Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen aller maßgeblichen Fahrzeugklassen, ist der nächste Schritt die Ermittlung der Schädigung, die diese Achslasten im Asphalt hervorrufen. Um nicht für jede Fahrzeugklasse und jeden Achslastverteilungsfall die Schädigung getrennt bestimmen zu müssen, sollen Schadensfunktionen für Achsaggregate bestimmt werden. Mithilfe dieser Schadensfunktionen kann anschließend für jede Achslastverteilung die Fahrzeugschädigung ermittelt werden. In diesem Kapitel wird die Ableitung dieser Schadensfunktionen, sowie die anschließende Ermittlung der Fahrzeugklassenschädigung behandelt.

### 4.1 Ableitung von Schadensfunktionen

Die Achskonfigurationen der Fahrzeugklassen setzen sich charakteristisch aus Einzel-, Tandem- und Tridemachsaggregaten zusammen. Für jedes dieser Achsaggregate wird eine oberbauspezifische Schadensfunktion erstellt, die, in Abhängigkeit der Achslast, die Schädigungswirkung auf einen bestimmten Straßenoberbau angibt.

Die Ermittlung der Schädigung erfolgt nach der in Kapitel 1.3 erklärten Vorgangsweise. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 4.1 den groben Ablauf zur Erstellung der Schadensfunktionen. Einige wichtige Eingangsparameter in das verwendete Primärwirkungsprogramm LEAP sind die Struktur des Oberbaus (Wahl des Materials und der Schichtdicken), die Klimakenngrößen (siehe Kapitel 1.3), der Reifeninnendruck und natürlich die Belastung für welche der Spannungszustand ermittelt werden soll. Für die Ableitung der Schadensfunktionen wird ein Aufbau der Lastklasse S, Bautype I (siehe Abbildung 4.2) untersucht. Diese Entscheidung ist dadurch zu begründen, dass die BWIM-Messungen, sowie die Mautdaten-Erhebung auf österreichischen Autobahnen durchgeführt wurden, die sich typischerweise durch eben diesen Aufbau auszeichnen.

Die Schadensfunktionen im eigentlichen Sinne entstehen schlussendlich aus dem Zusammenhang zwischen Achslastgrößen und die von ihnen verursachte jährliche mittlere Schädigung pro Lastwechsel. Für jede durchgeführte Berechnung ergibt sich ein Punkt auf einem



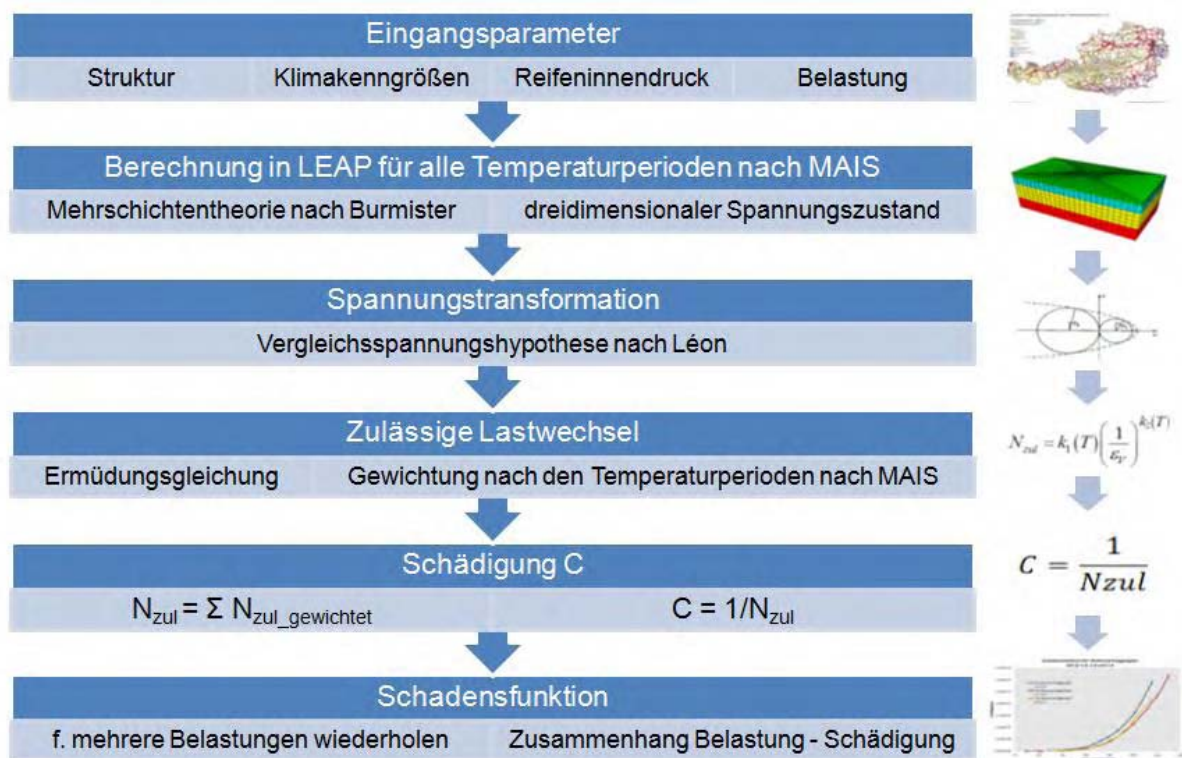


Abbildung 4.1: Ablauf zur Erstellung der Schadensfunktionen

**Lastklasse S,**  
Bautype 1:

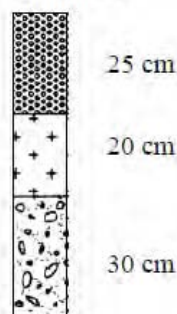


Abbildung 4.2: Standardaufbau der Bautype 1 für die Lastklasse S gemäß RVS 03.08.63 [38]

Diagramm mit der Schädigung als y- und der Achslast als x-Achse. Verbindet man diese Punkte erhält man eine Kurve. Durch Curve-fitting, wird eine mathematische Funktion an den Verlauf angepasst. Ein Beispiel für dieses Curve-fitting ist in Abbildung 4.4 zu sehen.

Für alle folgenden Ergebnisdarstellungen werden die Rechenbedingungen in kleinen Tabellen angezeigt. Abbildung 4.3 zeigt ein Beispiel dieser Tabellen und erklärt gleichzeitig die vorkommenden Abkürzungen. Außerdem werden für alle Rechnungen der Bautyp I, Lastklasse S verwendet und für die Faktoren  $k_1(70)$  bzw.  $k_2(70)$  wird  $4,6E-12$  bzw.  $5$  angenommen. Die Querdehnzahl beträgt laut WISTUBA [39]  $0,35$  und die Temperaturangaben sowie E-Moduli werden gemäß Kapitel 1.3 gewählt.

L [kN]	Radlast
p [bar]	Reifeninnendruck
TP [-]	Temperaturperiode
A [m]	Achsabstand
LV [-]	Lastverhältnis zwischen Achsen

Abbildung 4.3: Angabe der Rechenbedingungen

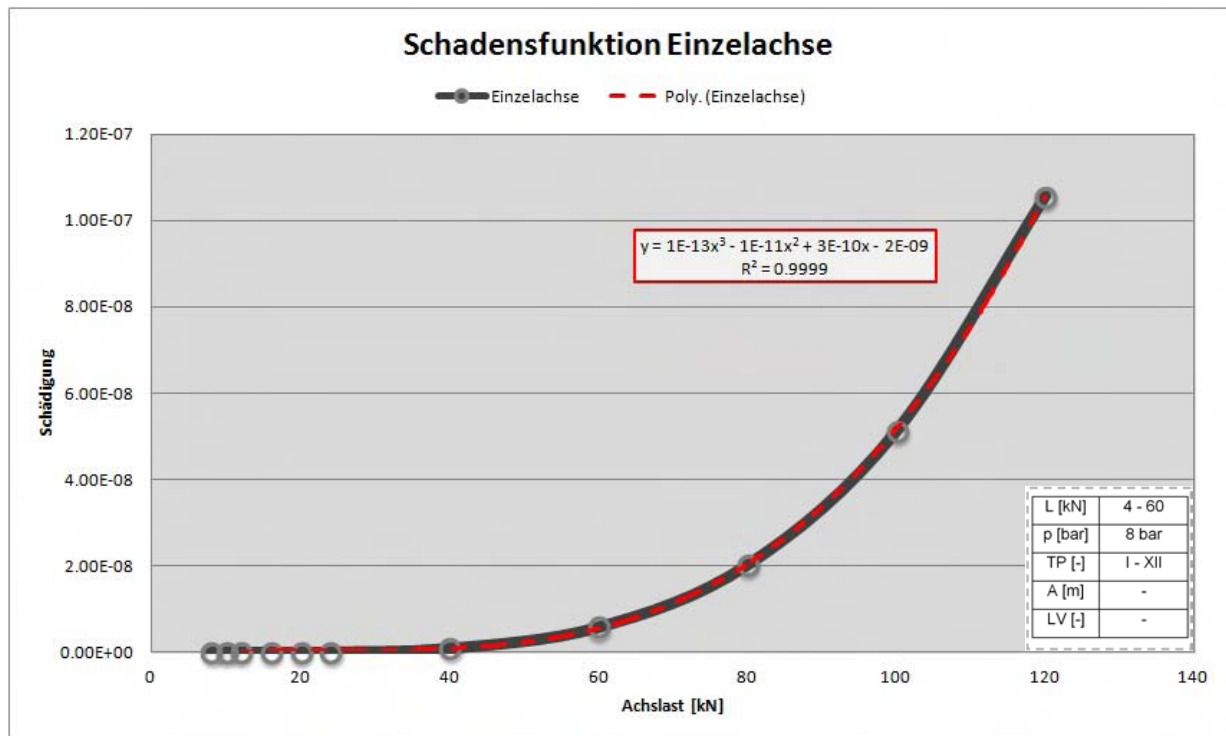


Abbildung 4.4: Curve-fitting am Beispiel einer Einzelachse,  $R^2$  gibt das Bestimmtheitsmaß des Polynoms an

## 4.2 Parameterstudie zu den Eingangsgrößen

Vor der Aufstellung der endgültigen Schadensfunktionen wird noch der Einfluss der Variation unterschiedlicher Parameter untersucht. Die variierten Parameter sind in Abbildung 4.5 ersichtlich.

### Reifeninnendruck

Zuerst wird der Einfluss des Reifeninnendruckes untersucht. Wie erwartet kann ein eindeutiger Trend zu höherer Schädigung bei höherem Reifeninnendruck festgestellt werden. Für die weiteren Berechnungen wird ein Reifeninnendruck von 0,8 MPa (8 bar) festgelegt. Dieser Wert liegt im oberen Bereich der gebräuchlichen Innendrucke laut CONTINENTAL [15] und erlaubt somit eine konservative und sinnvolle Abschätzung der Schädigung.

### Achsabstand

Mit dem Ziel einen einheitlichen Achsabstand für die Schadensfunktionen aller Achsaggregate zu finden, der deren Schädigung hinreichend genau wiedergibt, wurden Vergleichsrechnungen mit Parametervariationen durchgeführt. Durch diese umfassenden Untersuchungen konnte ein Überblick über die Schädigungscharakteristik von Tandem- und Tridemachsggregaten in Abhängigkeit des Achsabstandes und der Achslast gewonnen werden. Die Resultate davon sind in Abbildung 4.6 bis Abbildung 4.10 ersichtlich und werden im Folgenden genauer erläutert.

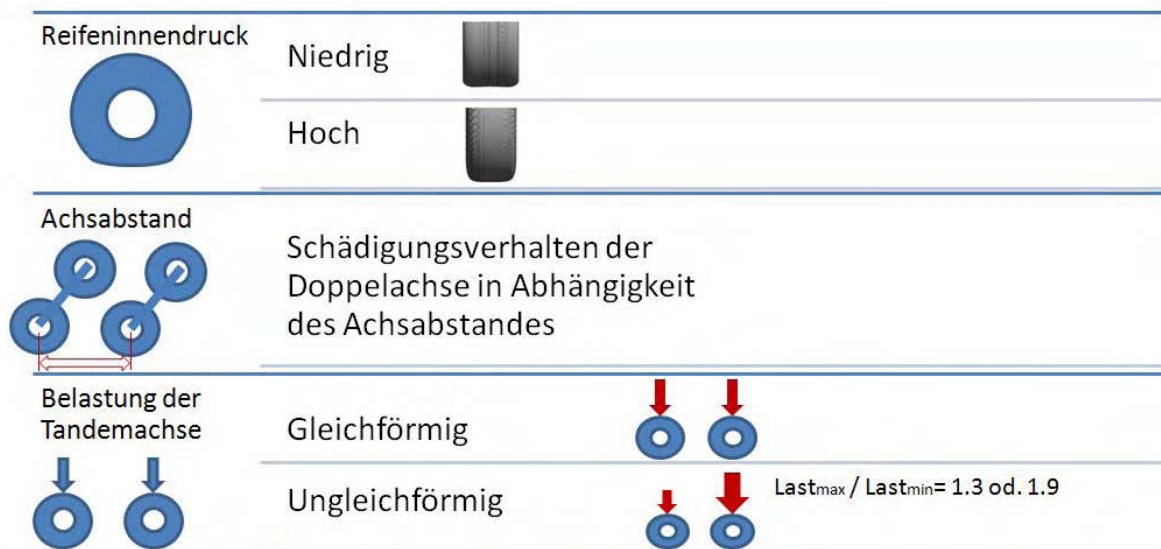


Abbildung 4.5: Parametervariation

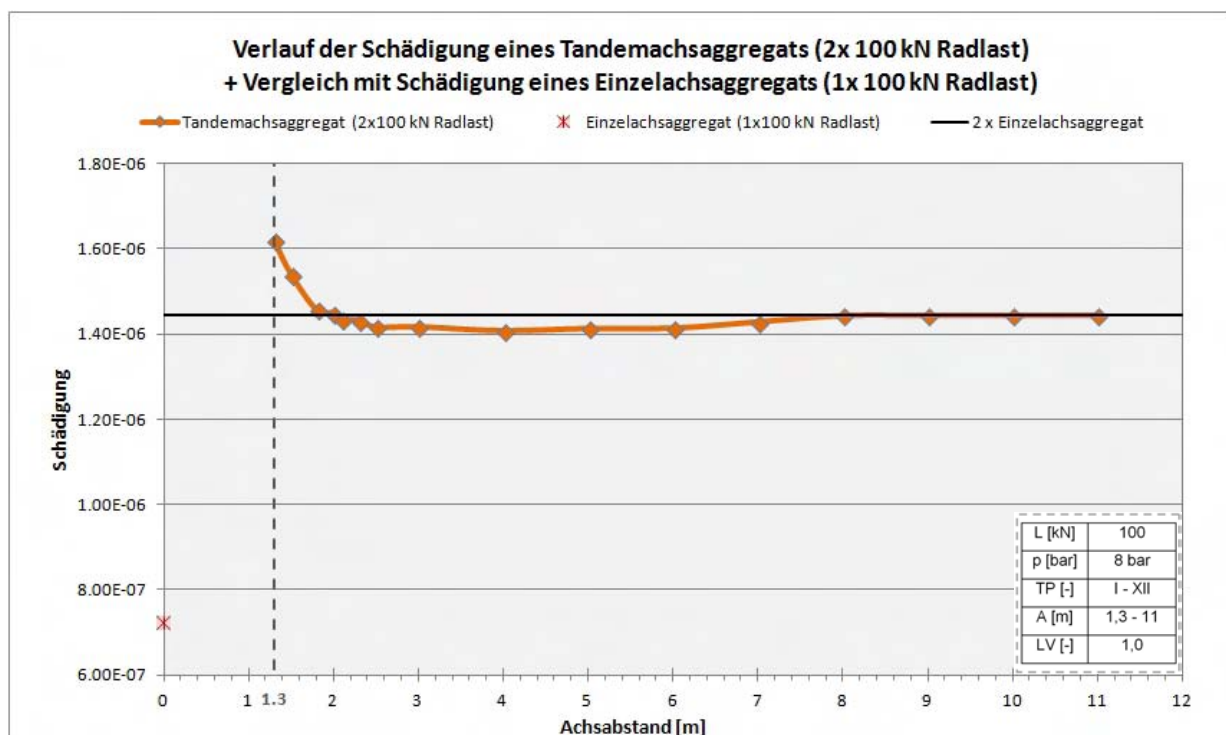


Abbildung 4.6: Schädigungsverlauf eines Tandemachsaggregats mit 100 kN Radlast und Vergleich mit der einfachen, sowie zweifachen Schädigung einer Einzelachse mit 100 kN Radlast

Eine Radlast (Einzelreifen) von 100 kN wie in Abbildung 4.6 ist für den Anwendungsbereich der vorliegenden Arbeit eher unrealistisch und wurde hier nur gewählt um den generellen Schädigungsverlauf besser untersuchen zu können. Zu Kontrollzwecken wurden weitere Rechnungen mit einer in der Realität sehr häufig vorkommenden Radlast von 30 kN durchgeführt. Die Ergebnisse daraus sind in Abbildung 4.7 dargestellt. Man kann in beiden Abbildungen (Abbildung 4.6 und Abbildung 4.7) prinzipiell die gleiche Charakteristik erkennen, wobei der Schadensverlauf bei 30 kN natürlich nicht so stark ausgeprägt ist wie jener bei 100 kN. Sehr ähnliche Ergebnisse zeigt auch Abbildung 4.8 welche den Schadensverlauf einer Tridemachse mit 30 kN Radlast anzeigt.

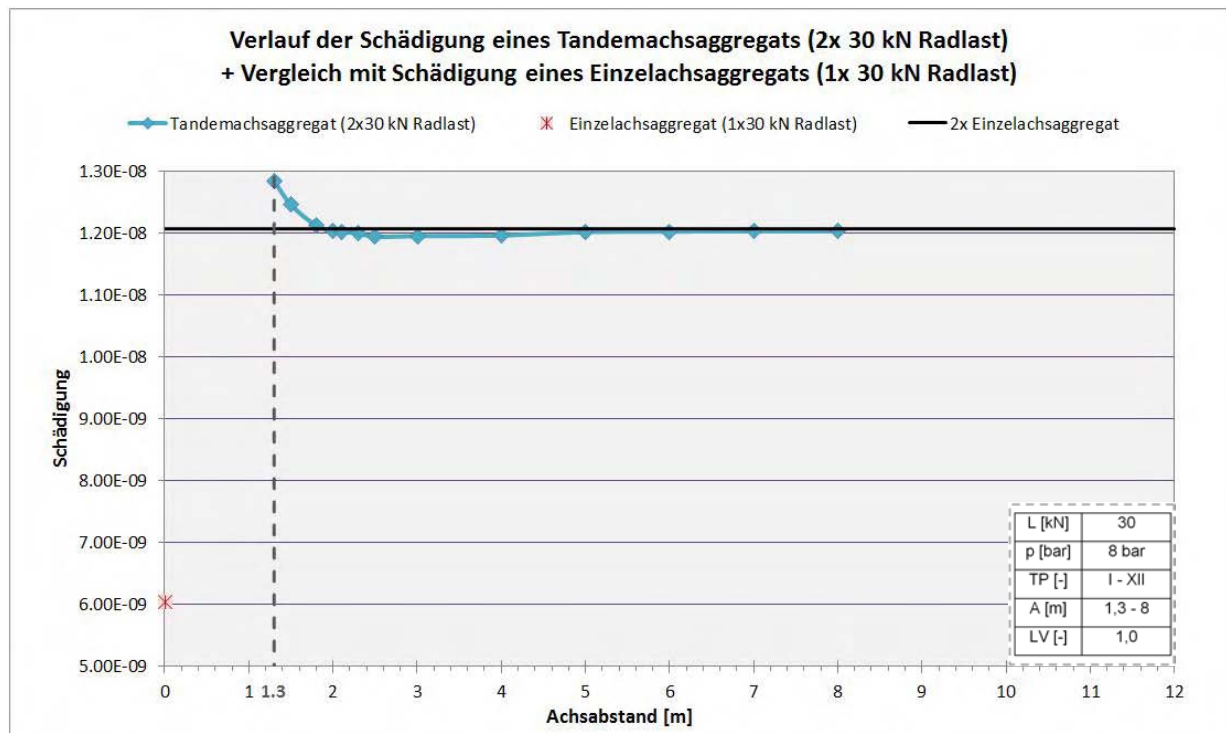


Abbildung 4.7: Schädigungsverlauf eines Tandemachsaggregats mit 30 kN Radlast und Vergleich mit der einfachen, sowie zweifachen Schädigung einer Einzelachse mit 30 kN Radlast

Der Verlauf der Schädigung mit steigendem Achsabstand, der sich in Abbildung 4.6 bis Abbildung 4.8 abzeichnet, lässt sich durch das Prinzip der Einflusslinien erklären.

Da für die Berechnung der Schädigungen die Hauptnormalspannungen maßgeblich sind (siehe Vergleichsspannungskonzept, Gleichung 1.15 bis 1.18), werden diese in Abbildung 4.10 dargestellt und mit den Spannungen  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  und  $\sigma_{zz}$  verglichen.

Die Hauptnormalspannungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Normalspannungen maximal und die Schubspannungen minimal werden (Null). Da es sich bei Abbildung 4.9 und Abbildung 4.10 um ein sehr einfaches Lastsystem mit nur einer Last und mit zu x- und y-Richtung parallelen bituminösen Schichten handelt, ist es wenig überraschend, dass sich die Werte der ersten Hauptnormalspannung exakt mit jenen Werten der Spannung  $\sigma_{yy}$  decken,

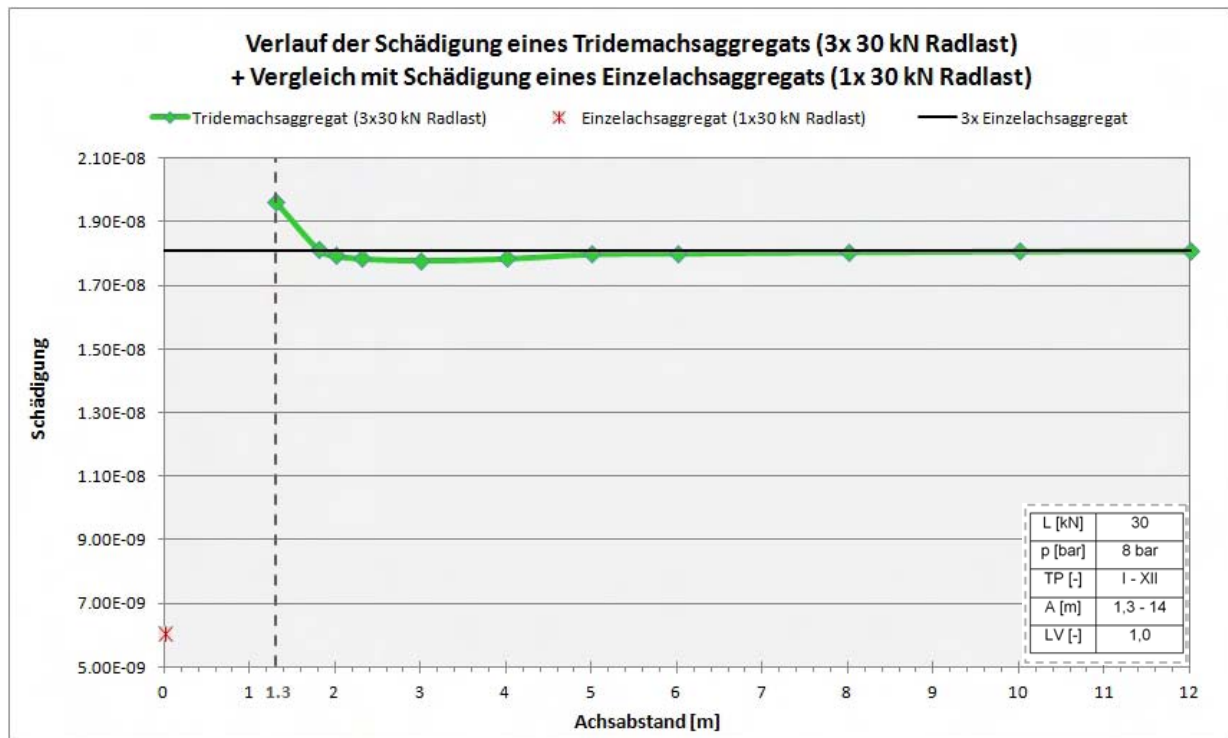


Abbildung 4.8: Schädigungsverlauf eines Tridemachsaggregats mit 30 kN Radlast und Vergleich mit der einfachen, sowie dreifachen Schädigung eines Einzelachsaggregats mit 30 kN Radlast

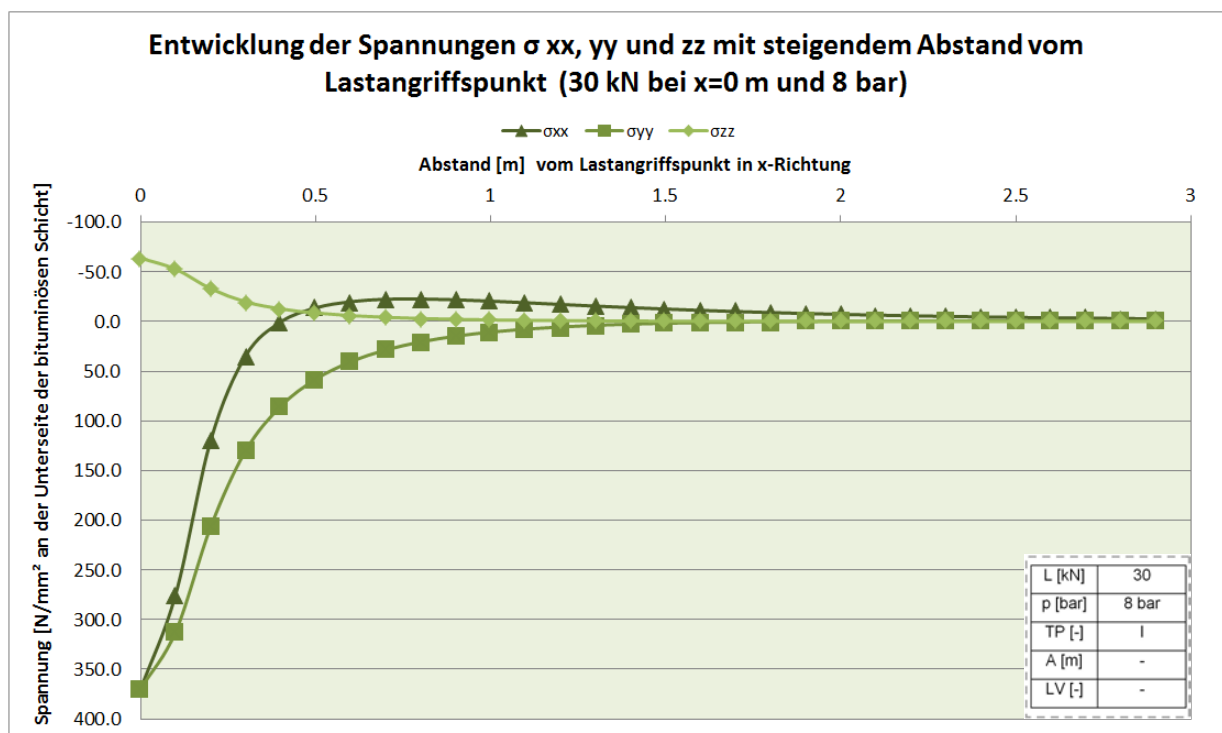


Abbildung 4.9: Entwicklung der Spannungen  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$

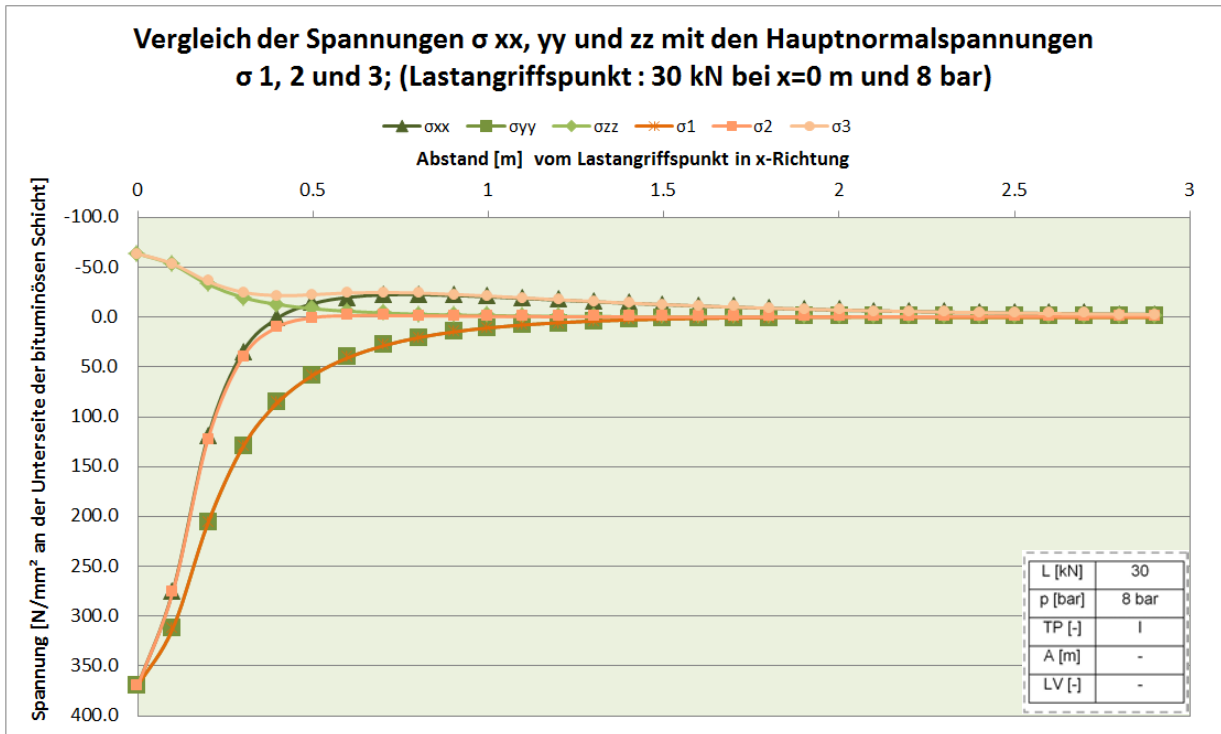


Abbildung 4.10: Vergleich Hauptnormalspannungen mit den Spannungen  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$

deren Werte stets größer als jene von  $\sigma_{xx}$  und  $\sigma_{zz}$  sind. Die Kurve der 2. Hauptnormalspannung folgt zunächst  $\sigma_{xx}$ , um sich dann noch vor der bereits erwähnten  $\sigma_{xx}$  Druckzone abzulösen und sich stattdessen der  $\sigma_{zz}$  Kurve anzunähern. Diese Ablösung ist dadurch zu erklären, dass die Spannungen  $\sigma_{zz}$  die Spannungen  $\sigma_{xx}$  in der Druckzone übersteigen. Dementsprechend verhält es sich mit der 3. Hauptnormalspannung genau gegengleich. Sie folgt zunächst der  $\sigma_{zz}$  Kurve, um sich anschließend an die  $\sigma_{xx}$  Druckzone anzunähern. Es gilt zu erwähnen, dass ausschließlich die Werte von  $\sigma_{yy}$  und die der 1. Hauptnormalspannung ident sind. Alle übrigen Kurven weisen, auch wenn sie in Abbildung 4.10 abschnittsweise ident aussehen, nur äußerst ähnliche Werte auf.

Anhand der gewonnen Erkenntnissen über den Verlauf von  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  und  $\sigma_{zz}$ , sowie der Hauptnormalspannungen, lässt sich nun die Schädigungscharakteristik der Tandem- und Tridemachsen (Abbildung 4.6 bis Abbildung 4.8) erklären. Die Abbildungen haben gemeinsam, dass die Schädigungskurven, jeweils in einem bestimmten Achsabstandsbereich und einer konkaven Linie folgend, unter den Wert der zwei- bzw. dreifachen Schädigung einer gleichbelasteten Einzelachse fallen. Das bedeutet, die Tandem- bzw. Tridemachsen schädigen in diesem Bereich den Straßenkörper weniger als zwei bzw. drei äquivalente Einzelachsen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich bei Mehrachsaggregaten jene Spannungskurven in x-Richtung, wie sie in Abbildung 4.10 zu sehen sind, gemäß der Mehrschichtentheorie von BURMISTER [13], überlagern. Demzufolge können sich die Spannungen und somit auch die Schädigungen von Mehrachsaggregaten gegenseitig verstärken, wie es in Achsnähe zu beobachten ist, oder auch abmindern. Die Abminderung ist durch die Druckzone der

1. Hauptnormalspannung (entspricht  $\sigma_{yy}$ ) zu erklären. Die gegenseitige Beeinflussung der Achsen hängt hauptsächlich von der Größe der Achslasten und natürlich vom Achsabstand ab. Ist ein gewisser Achsabstand erreicht, ist keine rechnerische Beeinflussung mehr nachzuweisen und die Schädigung erreicht das ganze Vielfache einer äquivalenten Einzelachse.

Abschließend zu dieser Untersuchung zum Achsabstand von Tandem- und Tridemachsen, ist festzuhalten, dass die angestellten Berechnungen wichtige Erkenntnisse und Aufschlüsse über den Spannungsverlauf in einer bituminösen Schicht gebracht haben. Die für die nächsten Schritte jedoch wesentlichste Erkenntnis ist, dass die maximale Schädigung eines Mehrachsenaggregats bei minimalem Achsabstand erreicht wird. Nimmt man den Mittelwert aus allen minimalen und maximalen Achsabständen der Tandem- und Tridemachsen (siehe Tabelle 3.2), ergibt sich ein Wert von 1,5 m. Laut KFG 1967 §4 Abs 8 [20] wird die maximale Belastung eines Tandem- bzw. Tridemachsaggregates durch dessen Achsabstand festgelegt. Der mittlere Achsabstand aller Mehrachsaggregate von 1,5 m fällt bei Tandemachsen in eine Kategorie, die von 1,3 m bis weniger als 1,8 m reicht, und bei Tridemachsen ist sie am ehesten der Kategorie über 1,3 m bis zu 1,4 m zuzuordnen. In Anlehnung an diese Kategorien wird der zur Aufstellung der Schadensfunktionen verwendete Achsabstand auf 1,3 m festgelegt. Dieser Achsabstand gewährleistet zum einen, dass die Schädigung nicht unterschätzt wird, und zum anderen, dass es sich dabei durchaus um einen Wert handelt, der auch häufig in der Praxis zu beobachten ist. Das Argument, dass die Schädigung dabei nicht unterschätzt wird, ist darauf zurückzuführen, dass die gewählten 1,3 m unterhalb des mittleren Achsabstandes von 1,5 m liegen. Laut Tabelle 3.2 treten auch Achsabstände ab 0,9 m auf. Diese Werte würden zwar das Modell-Schädigungsverhalten der Achsaggregate vergrößern, sie sind jedoch nicht so häufig anzutreffen, da geringe Achsabstände die gesetzlich höchstzulässige Achslast verringern, siehe dazu KFG 1967 §4 Abs 8 [20].

### **Belastungsverhältnis der Tandemachse**

Nachdem die Achsen der Tandemachsaggregate im Gegensatz zu jenen der Tridemachsaggregate bei vielen Fahrzeugklassen ungleichmäßig belastet werden, wurde auch der Einfluss der Ungleichbelastung dieser Achsen untersucht. Das Verhältnis von größerer zu kleinerer Last variiert, gemäß Auswertung der vorliegenden BWIM-Messungen, für alle Fahrzeugklassen zwischen 1,3 und 1,9. Erwartungsgemäß schädigt das Tandemachsaggregat bei maximaler Ungleichbelastung (LV=1,9) am meisten und zeigt im Vergleich zu Schadensfunktion mit Gleichbelastung (LV=1,0) einen etwas steileren Verlauf. Ein Vergleich der Schadensfunktionen in Abhängigkeit der Achslast mit unterschiedlichem Lastverhältnis LV ist in Abbildung 4.11 dargestellt. Als Konsequenz werden, anstatt einer einheitlichen Schadensfunktion für das Tandemachsaggregat, drei verschiedene Schadensfunktionen mit den Lastverhältnissen LV=1,0, LV=1,3 und LV=1,9 aufgestellt, welche im Bedarfsfall angewendet werden können.

### **Zusammenfassung Parameterstudie**

Die Parameterstudie hat sich auf die drei Parameter Reifennendruck, Achsabstand und Belastungsverhältnis der Tandemachse bezogen. Die Schlüsse aus dieser Untersuchung sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst.



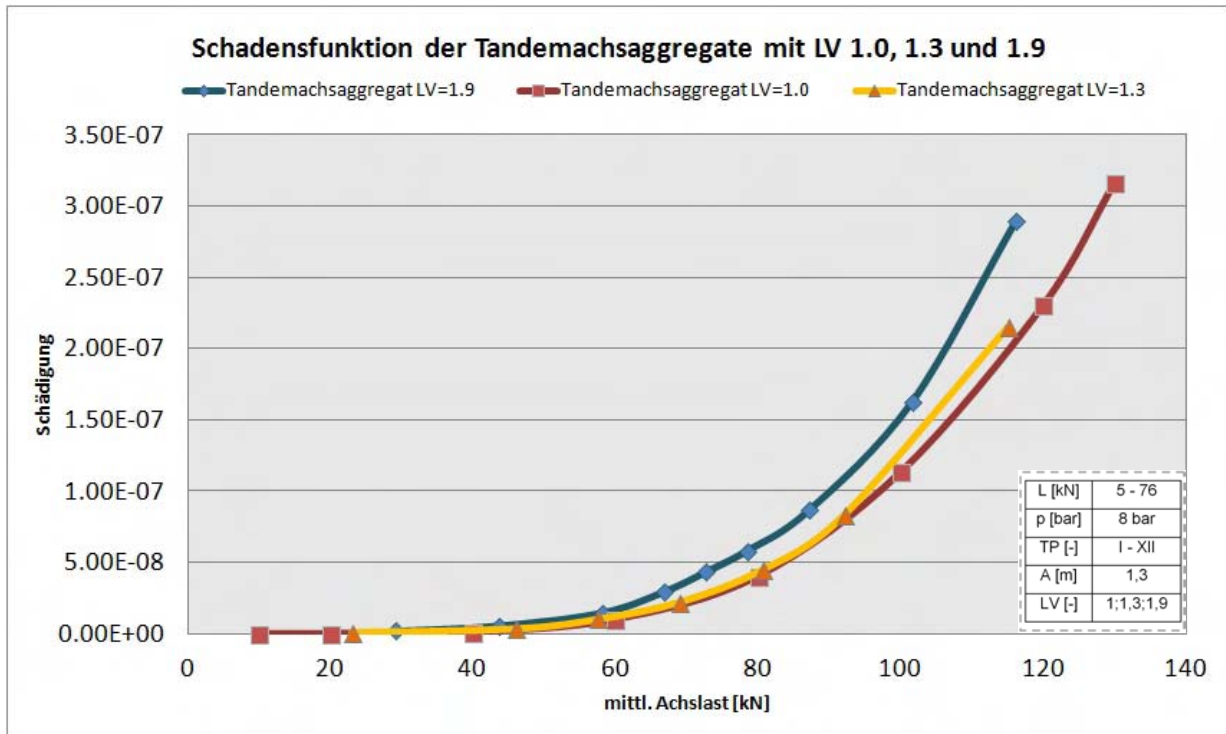


Abbildung 4.11: Schadensfunktionen des Tandemachsaggregats mit einem Lastverhältnis von 1,0, 1,3 bzw. 1,9

Tabelle 4.1: Zusammenfassung Parameterstudie

Parameter	Basiswerte für Erstellung der Schadensfunktionen
Reifeninnendruck	0,8 MPa (8 bar)
Achsabstand	1,3 m
Belastungsverhältnis der Tandemachse	drei unterschiedliche Schadensfunktionen mit einem Lastverhältnis LV von 1,0, 1,3 und 1,9

### 4.3 Schadensfunktionen für Achsaggregate

Nach Abschluss der Parameterstudie ist es möglich die Schadensfunktionen aufzustellen, die zur weiteren Berechnung der, durch die Fahrzeugklassen verursachten, Schädigungen notwendig sind. Eine Zusammenfassung aller Schadensfunktionen ist in Abbildung 4.12 und Tabelle 4.2 zu sehen. Es sind die drei Schadensfunktionen, die für die Einzel-, Tandem- und Tridemachsaggregate aufgestellt wurden, zu sehen, sowie die Schadensfunktionen der Tandemachse bei Ungleichbelastung (LV 1,3 und 1,9).

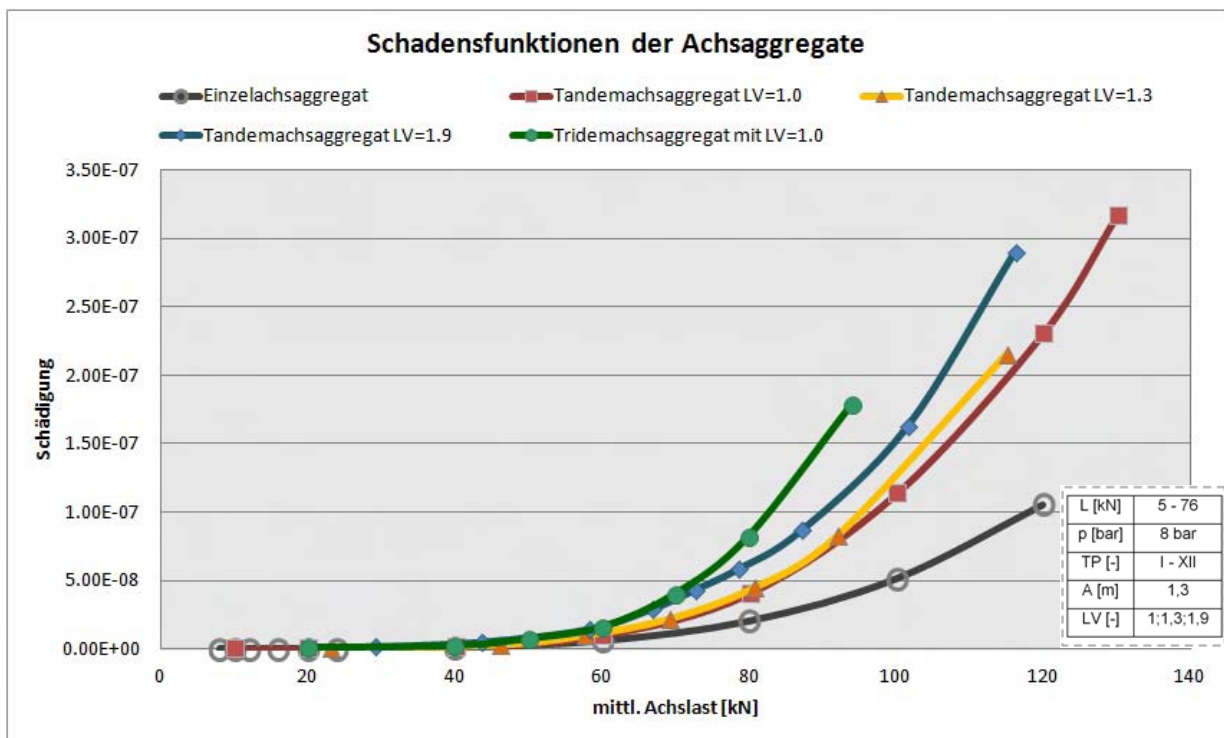


Abbildung 4.12: Gesamtheit der Schadensfunktionen; LV=Lastverhältnis der Achsen

Tabelle 4.2: Ergebnisse des Curve-fittings der Schadensfunktionen (durchgeführt mit dem Programm MATLAB)

Achsaggregat	Schadensfunktion
Einzelachse	$y_I = 1,28 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 - 1,01 \cdot 10^{-11} \cdot x^2 + 2,66 \cdot 10^{-10} \cdot x - 1,94 \cdot 10^{-09}$
Tandemachse LV=1,0	$y_{II_{LV1,0}} = 2,96 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 - 2,44 \cdot 10^{-11} \cdot x^2 + 3,36 \cdot 10^{-10} \cdot x - 4,48 \cdot 10^{-09}$
Tandemachse LV=1,3	$y_{II_{LV1,3}} = 3,89 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 - 4,00 \cdot 10^{-11} \cdot x^2 + 1,47 \cdot 10^{-09} \cdot x - 1,69 \cdot 10^{-08}$
Tandemachse LV=1,9	$y_{II_{LV1,9}} = 5,18 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 - 5,79 \cdot 10^{-11} \cdot x^2 + 2,54 \cdot 10^{-09} \cdot x - 3,69 \cdot 10^{-08}$
Tridemachse LV=1,0	$y_{III_{LV1,0}} = 8,18 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 - 8,32 \cdot 10^{-11} \cdot x^2 + 2,80 \cdot 10^{-09} \cdot x - 2,85 \cdot 10^{-08}$

#### 4.4 Mittlere Schädigung & Äquivalenzfaktoren der Fahrzeugklassen

Mithilfe der aufgestellten Schadensfunktionen können die Schädigungen der einzelnen Fahrzeugklassen ermittelt werden. Um diesen Vorgang besser verständlich zu machen, ist in Abbildung 4.13 ein Überblick gegeben über die grundsätzlichen Arbeitsschritte zur Berechnung der mittleren Schädigungen der einzelnen Fahrzeugklassen, die bei einmaligem Fahrzeugübergang entstehen.

Als ersten Schritt greift man auf die Einteilung der Fahrzeuge in Fahrzeugklassen zurück, die in Kapitel aufgestellt wurde. Jeder Fahrzeugklasse wurden, getrennt für die Kollektive A9, A10 und A12, Gesamtgewichtsverteilungen und in Abhängigkeit davon Achslastverteilungen zugeordnet. An dieser Stelle kommen nun die, im vorigen Kapitel aufgestellten, Schadensfunktionen ins Spiel. Setzt man die Belastung eines Achsaggregats, die sich aus den Achslastverteilungen ergibt, in die zugehörige Schadensfunktion ein, gibt die Funktion die Schädigung zurück, welche dieses Achsaggregat bei einmaligem Übergang verursacht. Summiert man diese Schädigungen für ein Fahrzeug auf, erhält man jene Schädigung, die ein Fahrzeug (dieser Fahrzeugklasse und dieses Gesamtgewichts) bei einmaligem Übergang verursacht. Diese Schädigung muss dann jedoch noch mit der Auftretshäufigkeit dieses Gesamtgewichtes gewichtet werden. Nach Schadensermittlung, Summenbildung und Gewichtung für alle Fälle der Gesamtgewichtsverteilung, kann durch nochmalige Summenbildung dieser gewichteten Schädigungen die mittlere Schädigung dieser Fahrzeugklasse bei einmaligem Fahrzeugübergang ermittelt werden. Man spricht hier von einer sogenannten mittleren Schädigung, da alle in der Realität auftretenden Gesamtgewichtsfälle gemäß

ihrer tatsächlichen Auftrittshäufigkeit berücksichtigt werden, und sich somit ein mittlerer, für die Fahrzeugklasse repräsentativer, Schädigungswert ergibt. Die Schritte von der Ermittlung der Gesamtgewichtsverteilung bis zur Berechnung der mittleren Schädigung einer Fahrzeugklasse werden getrennt für alle Fahrzeugklassen auf der A9, A10 und A12 durchgeführt. Dies ist dadurch zu rechtfertigen, dass die Gesamtgewichtsverteilung einer Fahrzeugklasse variiert, in Abhängigkeit davon, wo die Messung durchgeführt wurde. Somit ergeben sich für jede Fahrzeugklasse drei mittlere Schädigungen für A9, A10 und A12. Es bleibt wichtig zu betonen, dass sich alle, in dieser Arbeit, ermittelten Schädigungen auf den Oberbau der Lastklasse S, Bautyp I beziehen.

Die Ergebnisse dieser Schadensberechnungen sind in Abbildung 4.14 bis Abbildung 4.16 zu sehen. Die Abbildungen zeigen zum einen die mittlere Schädigung bei einmaligem Fahrzeugübergang der Fahrzeugklassen auf A9, A10 und A12, und zum anderen die Äquivalenzfaktoren, die aus dem Verhältnis von mittlerer Schädigung zur Schädigung einer Normachse von 100 kN berechnet werden.

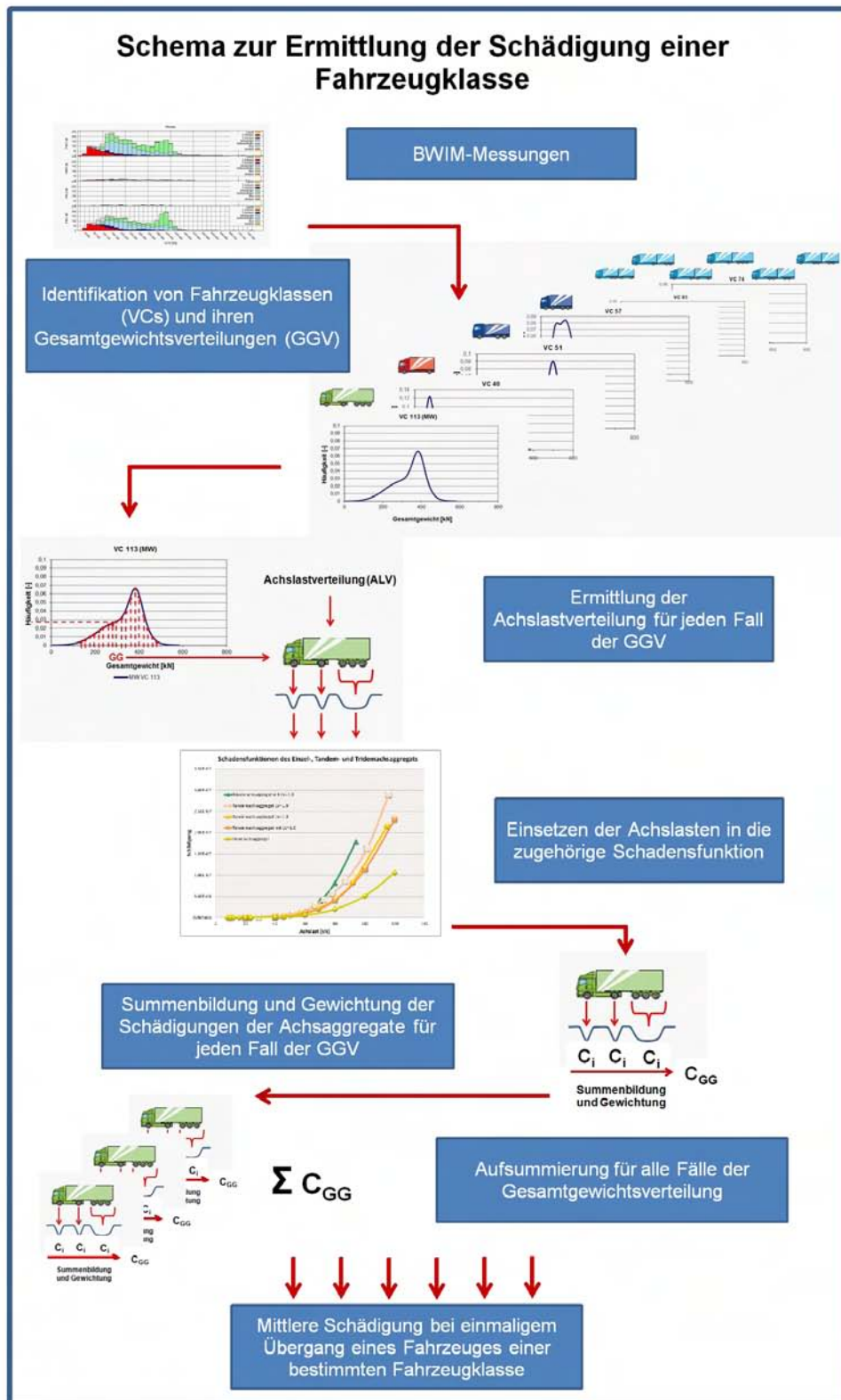


Abbildung 4.13: Schema zur Ermittlung der mittleren Schädigungen der Fahrzeugklassen bei einmaligem Fahrzeugübergang

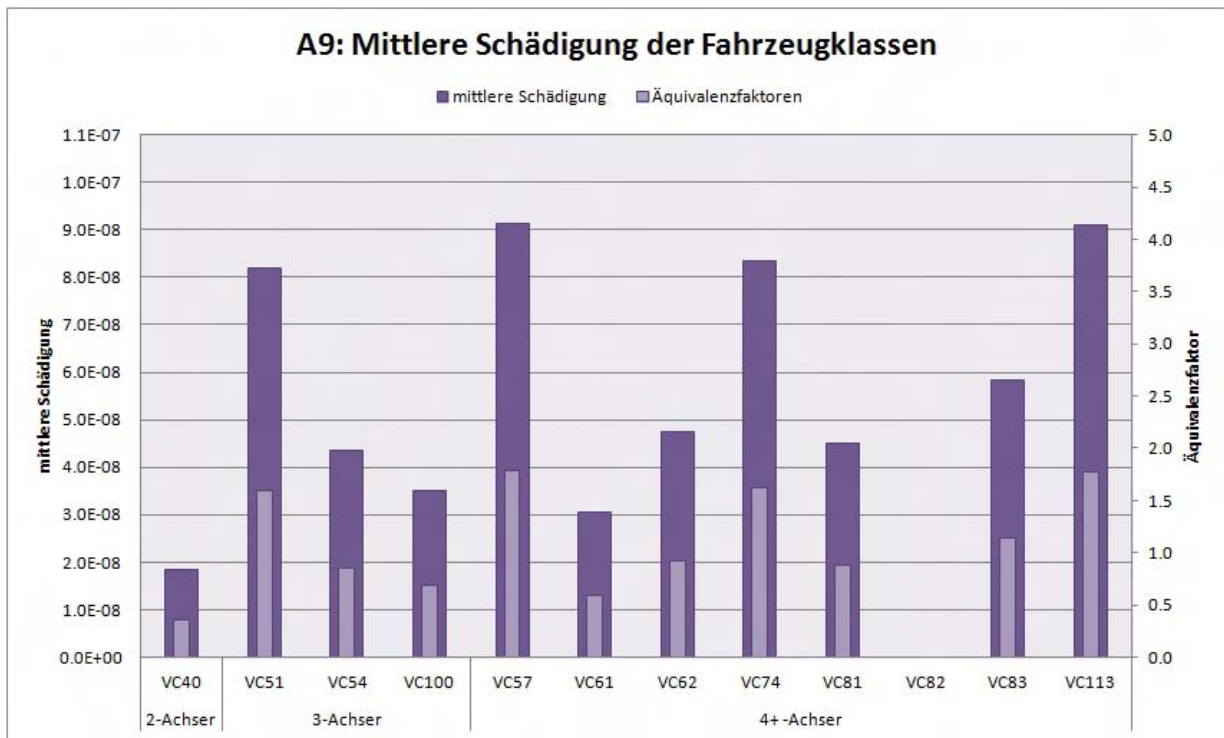


Abbildung 4.14: A9: Mittler Schädigung der Fahrzeugklassen, sowie deren Äquivalenzfaktoren (entsprechen Schädigung in Bezug zur Normachse (100 kN))

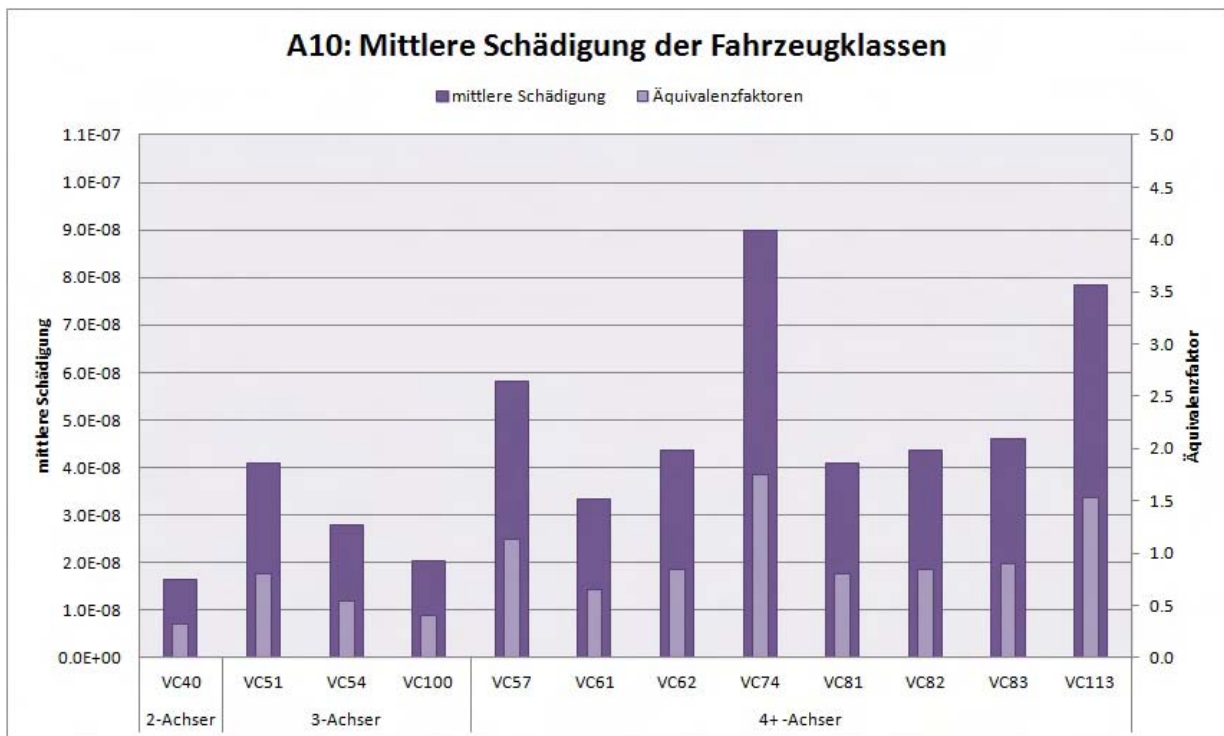


Abbildung 4.15: A10: Mittler Schädigung der Fahrzeugklassen, sowie deren Äquivalenzfaktoren (entsprechen Schädigung in Bezug zur Normachse (100 kN))

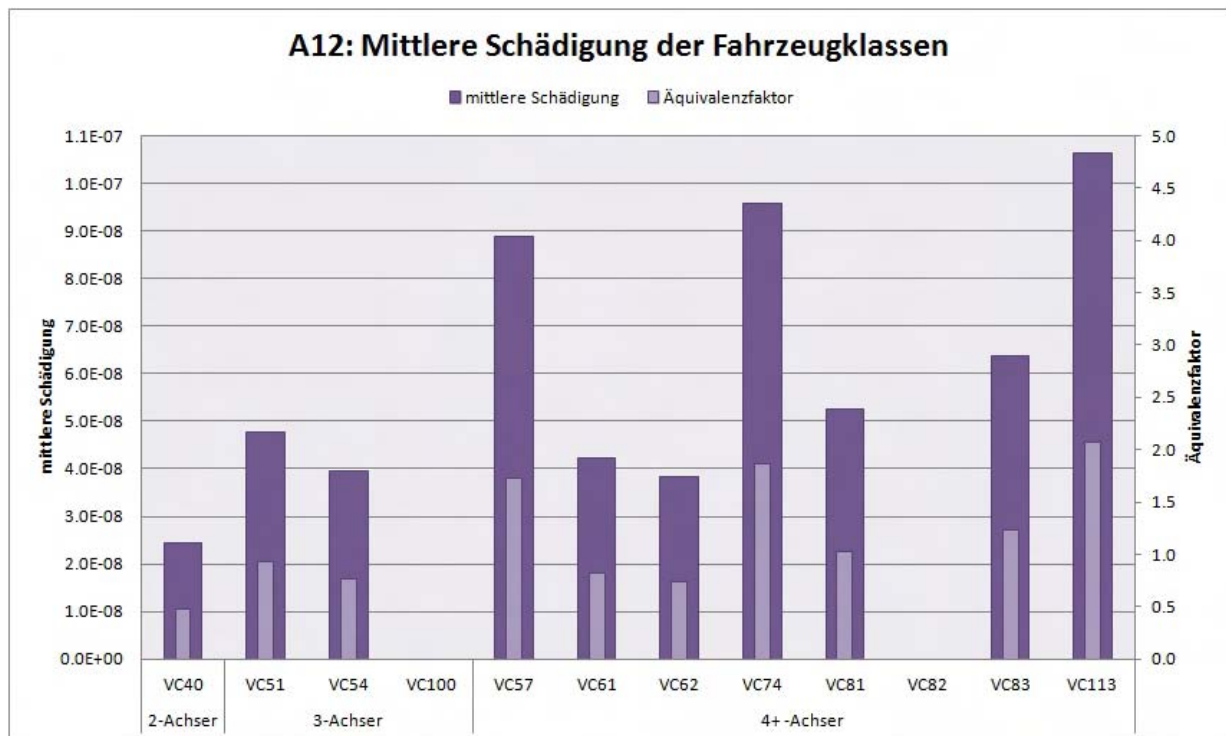


Abbildung 4.16: A12: Mittler Schädigung der Fahrzeugklassen, sowie deren Äquivalenzfaktoren (entsprechen Schädigung in Bezug zur Normachse (100 kN))

## 4.5 Untersuchung zur Schädigung von Fahrzeuggruppen und -kollektiven

Der nächste Schritt nach Berechnung der mittleren Schädigung einer Fahrzeugklasse ist die Untersuchung der Schädigungswirkung von Fahrzeuggruppen bzw. ganzen Kollektiven. Dies ist notwendig, da im Weiteren ein für österreichische Autobahnen und Schnellstraßen repräsentatives Verkehrskollektiv erstellt werden soll. Zwei wesentliche Anforderungen an dieses Kollektiv sind, dass es zum einen in der Realität tatsächlich auftreten kann und zum anderen, dass es bezüglich seiner Schädigungswirkung besonders aggressiv ist. Letzteres ist notwendig, um eine Unterdimensionierung von Autobahnen und Schnellstraßen bei Verwendung dieses repräsentativen Verkehrskollektives zu vermeiden. Ziel ist es, dieses repräsentative Kollektiv dem Planer zur Verfügung zu stellen, falls dieser über keine eigenen Daten zur Fahrzeugklassen- und Achslastverteilung verfügt.

Zunächst ist es einmal wichtig, nicht nur die mittleren Schädigungen der einzelnen Fahrzeugklassen, sondern auch deren Auftrittshäufigkeit zu bedenken. Die Auftrittshäufigkeiten müssen insofern berücksichtigt werden, da eine Fahrzeugklasse zwar sehr stark schädigen kann, jedoch für eine Bemessung nicht relevant sein wird, falls sie nur sehr selten auftritt. Umgekehrt kann eine andere Fahrzeugklasse den Straßenoberbau bei einmaliger Überfahrt nur wenig schädigen, falls sie jedoch häufig auftritt, summieren sich diese Schädigungen auf und werden somit bemessungsrelevant.

Die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen laut den BWIM-Berichten ist bereits in Kapitel 3.4.2 angegeben. Da auf der A12 die Auftrittshäufigkeiten von VC100 und VC82 zwar bekannt sind, jedoch keine Daten zu deren Gesamtgewichts- bzw. Achslastverteilungen vorliegen, werden die Häufigkeiten dieser Fahrzeugklassen auf der A12, jeweils Fahrzeugklassen ähnlicher Schädigung auf der A12 zugeordnet. Diese Fahrzeugklassen ähnlicher Schädigung können durch die Betrachtung der beiden anderen Kollektive (A9 und A10) identifiziert werden. Die Achslastdaten besagter Fahrzeugklassen und somit auch deren mittlere Schädigung sind in diesen beiden Kollektiven bekannt. Daher kann festgestellt werden, dass die Fahrzeugklassen VC54 und VC81 auf A9 und A10 eine ähnliche mittlere Schädigung wie VC100 und VC82 in den jeweiligen Kollektiven aufweisen. Diesem Umstand Rechnung tragend, werden die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen VC100 und VC82 auf der A12, respektive den Fahrzeugklassen VC54 und VC81 auf der A12 hinzugefügt. Die Ergebnisse dieser Korrektur der Auftrittshäufigkeiten ist in Tabelle 4.3 ersichtlich, wobei die korrigierten Auftrittshäufigkeiten in Rot markiert sind. In Tabelle 4.3 ist ebenfalls erkennbar, dass die Summen der Auftrittshäufigkeiten der Kollektive nicht 1 ergeben. Dies ist auf jene Fahrzeugklassen zurückzuführen, die aufgrund ihrer geringen Auftrittshäufigkeit (<1%) nicht berücksichtigt wurden. Die Differenzen der Auftrittshäufigkeiten zu 1 sind für die Fahrzeuggruppen der Kollektive in Tabelle 4.4 dargestellt. Diese Differenzen können aufgrund von Daten aus den BWIM-Berichten [34] [35] [33] für die Fahrzeuggruppen angegeben werden und werden jenen Fahrzeugklassen mit der höchsten mittleren Schädigung aus der jeweiligen Fahrzeuggruppe und dem jeweiligen Kollektiv zugerechnet. Die neuen Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen sind in Tabelle 4.5 angegeben, wobei die veränderten Werte wiederum in Rot markiert sind. In Tabelle 4.6 sind zusätzlich noch die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeuggruppen angegeben.

Tabelle 4.3: Korrektur der Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen; korrigierte Werte sind in Rot dargestellt

Korrektur der Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen													
	VC												
	40	51	54	57	61	62	74	81	83	113	100	82	Summe
A9	0.1460	0.0176	0.0245	0.0233	0.1360	0.1010	0.0468	0.0290	0.0666	0.2860	0.0333	-	0.9101
A10	0.1319	0.0182	0.0158	0.0220	0.1067	0.0770	0.0778	0.0230	0.0457	0.3119	0.0338	0.0119	0.8758
A12	0.1067	0.0313	0.0390	0.0220	0.0981	0.0256	0.1053	0.0299	0.0481	0.4618	-	-	0.9677

Tabelle 4.4: Differenz der Auftrittshäufigkeiten der Kollektive zu 1 bzw. 100%

Differenz der Auftrittshäufigkeiten zu 1 bzw. 100%													
	2-Achser		3-Achser				4+-Achser						
	VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC82	VC83	VC113	Summe
A9	0.0010		0.0000										0.0893
A10	0.0021		0.0072										0.1244
A12	0.0003		0.0007										0.0403

Mithilfe dieser Wahrscheinlichkeiten werden die Schädigungen für die Fahrzeuggruppen der Kollektive auf der A9, A10 und A12 berechnet. Die Berechnung dieser gewichteten Schädigung erfolgt durch die Multiplikation der mittleren Schädigung einer Fahrzeugklasse mit deren Auftrittshäufigkeit. Die mittlere Schädigung einer Fahrzeuggruppe oder eines Kollektives erhält man durch Summenbildung der gewichteten Schädigungen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 4.7 zusammengefasst, wobei die rot markierten



Tabelle 4.5: Zuordnung der Auftrittshäufigkeits-Differenzen zu den Fahrzeugklassen mit den höchsten mittleren Schädigungen; korrigierte Werte sind in Rot dargestellt

Zuordnung der Auftrittshäufigkeits-Differenzen zu den Fahrzeugklassen mit den höchsten mittleren Schädigungen													
	VC												
	40	51	54	57	61	62	74	81	83	113	100	82	Summe
A9	0.14700	0.01760	0.02450	0.11160	0.13600	0.10100	0.04680	0.02900	0.06660	0.28600	0.03330	-	1.0000
A10	0.13400	0.02541	0.01580	0.02199	0.10674	0.07703	0.19288	0.02299	0.04575	0.31188	0.03380	0.01193	1.0000
A12	0.10700	0.03198	0.03905	0.02197	0.09810	0.02557	0.10529	0.02989	0.04807	0.50108	-	-	1.0000

Tabelle 4.6: Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeuggruppen

Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeuggruppen													
	2-Achser		3-Achser			4+ -Achser							
	VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC82	VC83	VC113	Summe
A9	0.1470		0.0754					0.7770					1.0000
A10	0.1340		0.0750					0.7912					1.0000
A12	0.1070		0.0710					0.8300					1.0000

Einträge anzeigen in welchem Kollektiv (A9, A10, A12) die Fahrzeuggruppe am aggressivsten bezüglich ihrer Schädigung ist. In Abbildung 4.17 bis Abbildung 4.19 ist der Anteil der Fahrzeugklassen an der Kollektivschädigung A9, A10 bzw. A12 in absoluten und relativen Werten detailliert dargestellt. In Abbildung 4.20 ist der Anteil an der jeweiligen Kollektivschädigung zusammenfassend für alle Fahrzeugklassen zu sehen.

Tabelle 4.7: Übersicht über die Schädigung der Fahrzeuggruppen unter Berücksichtigung des Anteils der FG an der Verkehrsbelastung (VB)

Absoluter Anteil der Fahrzeuggruppen an der Schädigung der Kollektive A9, A10 bzw. A12													
	2-Achser		3-Achser			4+ -Achser							
	VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC82	VC83	VC113	Summe
A9	2.7142E-09		3.6804E-09					5.3428E-08					5.9823E-08
A10	2.2012E-09		2.1734E-09					5.3116E-08					5.7491E-08
A12	2.6065E-09		3.0696E-09					7.4378E-08					8.0054E-08

Bei Betrachtung der Ergebnisse in Tabelle 4.7 wird klar, dass die Gruppe der 2- und 3-Achser im Kollektiv A9 am meisten schädigen und die Gruppe der 4+-Achser im Kollektiv A12. Da jedoch die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeuggruppen von Kollektiv zu Kollektiv unterschiedlich sind, wie in Tabelle 4.6 erkennbar ist, ist es streng genommen nicht korrekt die Fahrzeuggruppen kollektivübergreifend zu vergleichen. Mit dem Ziel im Auge, ein repräsentatives Kollektiv zu erzeugen, dass einerseits die Realität abbildet und andererseits, für eine Oberbaubemessung den ungünstigsten Fall darstellt, wird für jedes Kollektiv und jede Fahrzeuggruppe die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen innerhalb der jeweiligen Gruppe berechnet. Diese Werte sind in Tabelle 4.8 dargestellt. Um die Fahrzeuggruppenschädigungen kollektivübergreifend vergleichbar machen zu können, werden fiktive Gruppenwahrscheinlichkeiten, siehe Tabelle 4.9, verwendet. Die Größenordnung dieser Wahrscheinlichkeiten ist irrelevant, da sie nur dem Zweck eines Vergleiches der Fahrzeuggruppenschädigungen dienen. Die Auftrittshäufigkeiten innerhalb der Gruppe, siehe Tabelle 4.8, werden nun mit den fiktiven Gruppenwahrscheinlichkeiten, siehe Tabelle 4.9, multipliziert und man erhält als Resultat die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen, siehe Tabelle 4.10. Dieses neue Kollektiv wird gemäß seines Zweckes Vergleichskollektiv benannt. Es zeichnet sich dadurch aus, dass sich zwar die Auftrittshäufigkeiten der Fahr-

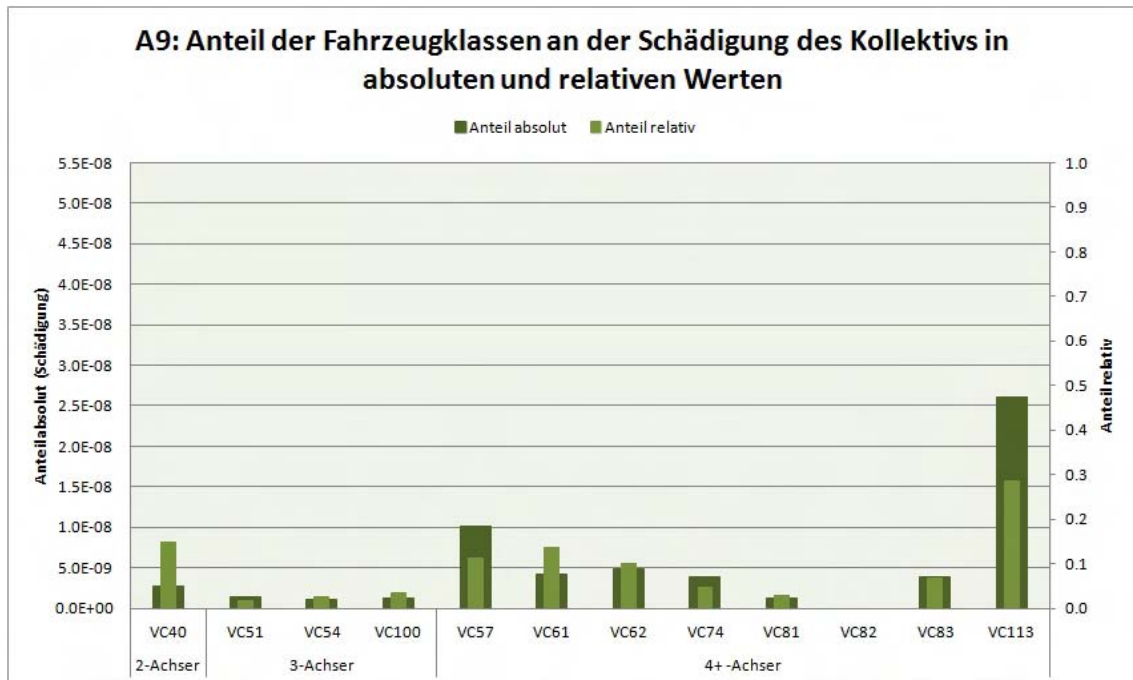


Abbildung 4.17: A9: Anteil der Fahrzeugklassen an der Schädigung des Kollektivs in absoluten und relativen Werten

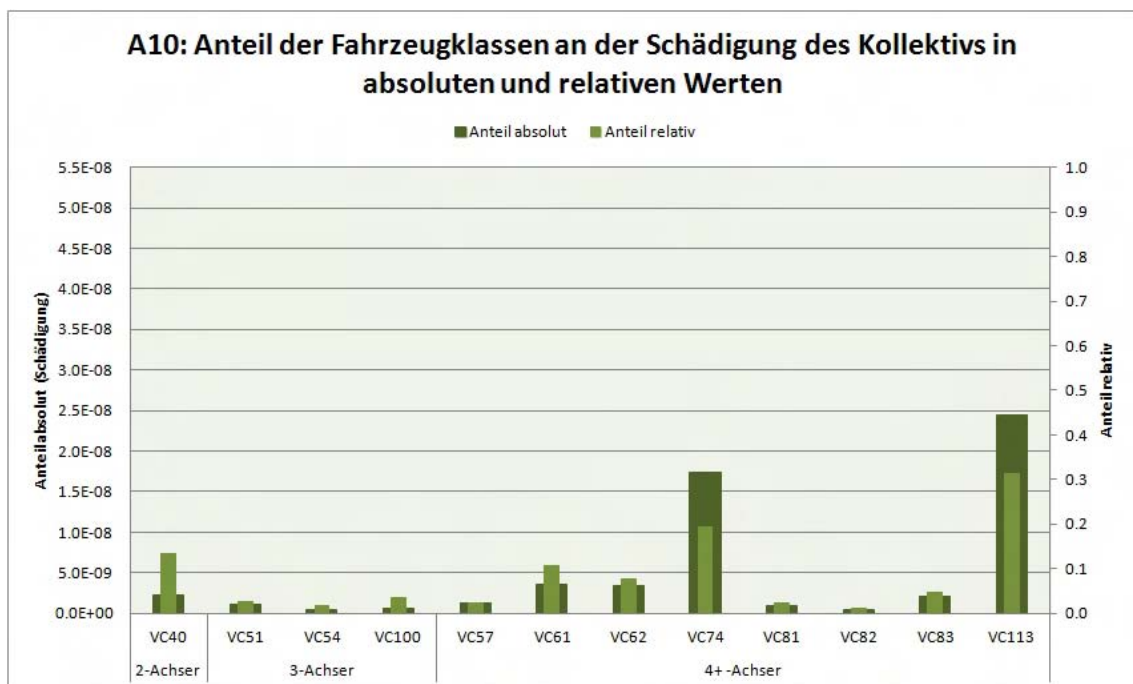


Abbildung 4.18: A10: Anteil der Fahrzeugklassen an der Schädigung des Kollektivs in absoluten und relativen Werten

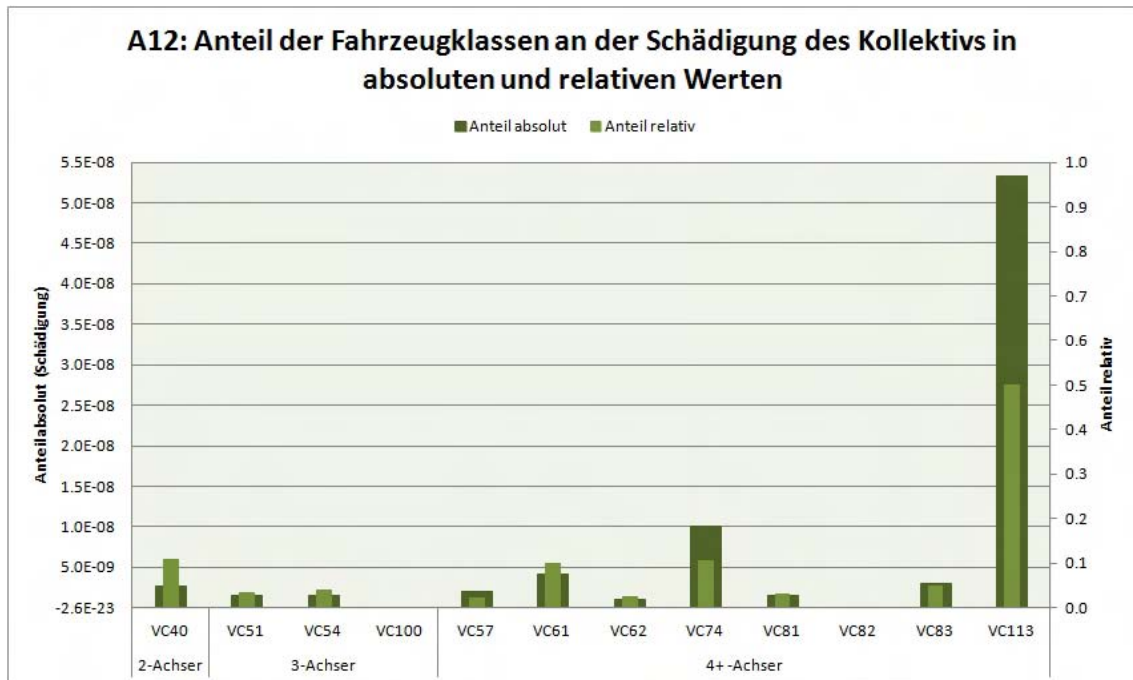


Abbildung 4.19: A12: Anteil der Fahrzeugklassen an der Schädigung des Kollektivs in absoluten und relativen Werten

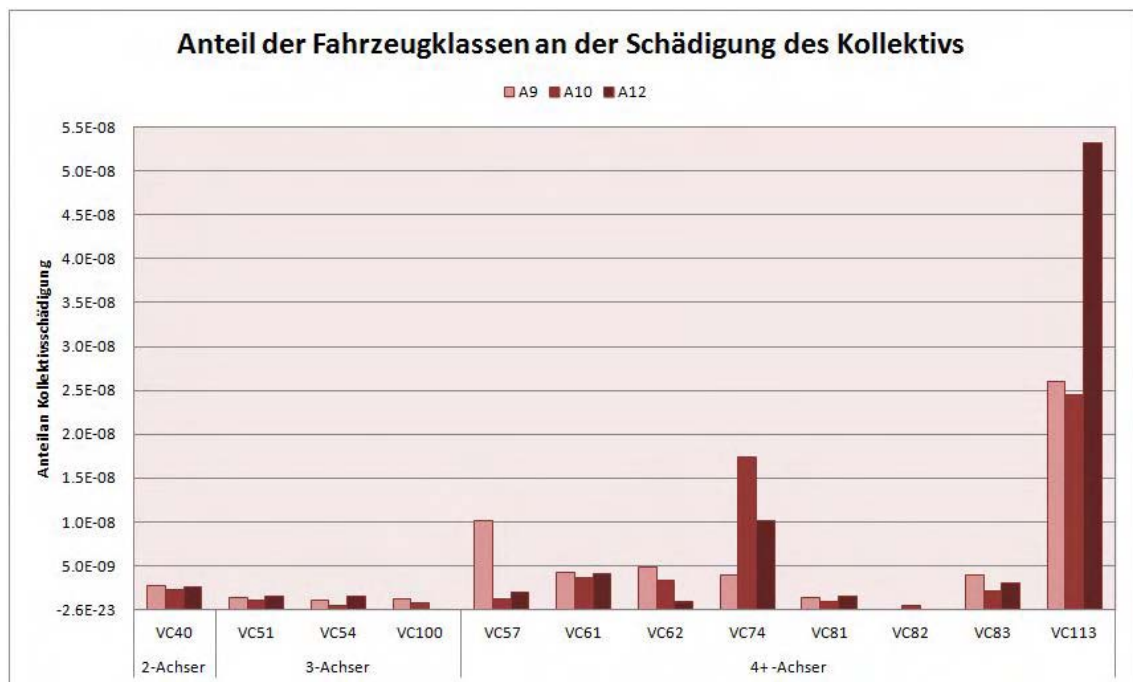


Abbildung 4.20: Vergleich des Anteils der Fahrzeugklassen an der jeweiligen Schädigung des Kollektivs (A9, A10 bzw. A12)

zeugklassen auf A9, A10 und A12 voneinander unterscheiden, diejenigen der Gruppen jedoch kollektivübergreifend konstant bleiben. Durch Multiplikation der im vorigen Kapitel berechneten mittleren Schädigungen der Fahrzeugklassen mit den Werten des Vergleichskollektivs, kann die jeweils aggressivste Gruppe der 2-, 3- und 4+-Achser ermittelt werden. Die Ergebnisse der Vergleichskollektivschädigung sind in Abbildung 4.11 zu sehen.

Tabelle 4.8: Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen innerhalb der Fahrzeuggruppen [%]

Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen innerhalb der Fahrzeuggruppen [%]												
	2-Achser		3-Achser				4+ -Achser					
	VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC82	VC83	VC113
A9	100.00%	23.34%	32.49%	44.16%	14.36%	17.50%	13.00%	6.02%	3.73%	0.00%	8.57%	36.81%
A10	100.00%	33.87%	21.06%	45.06%	2.78%	13.49%	9.74%	24.38%	2.91%	1.51%	5.78%	39.42%
A12	100.00%	45.02%	54.98%	0.00%	2.65%	11.82%	3.08%	12.69%	3.60%	0.00%	5.79%	60.37%

Tabelle 4.9: Fiktive Gruppenhäufigkeiten

Fiktive Gruppenhäufigkeiten												
	2-Achser		3-Achser				4+ -Achser					
	VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC82	VC83	VC113
A9	0.1400	0.0750				0.7850						
A10	0.1400	0.0750				0.7850						
A12	0.1400	0.0750				0.7850						

Tabelle 4.10: Auftrittshäufigkeiten der Vergleichskollektive A9, A10, A12

Auftrittshäufigkeiten der Vergleichskollektive A9, A10, A12												
	2-Achser		3-Achser				4+ -Achser					
	VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC82	VC83	VC113
A9	0.1400	0.0175	0.0244	0.0331	0.1127	0.1374	0.1020	0.0473	0.0293	0.0000	0.0673	0.2889
A10	0.1400	0.0254	0.0158	0.0338	0.0218	0.1059	0.0764	0.1914	0.0228	0.0118	0.0454	0.3094
A12	0.1400	0.0338	0.0412	0.0000	0.0208	0.0928	0.0242	0.0996	0.0283	0.0000	0.0455	0.4739

Bei Untersuchung der gewichteten Schädigungen des Vergleichskollektivs in Tabelle 4.11 sieht man rasch, dass die Fahrzeugzusammensetzung der Gruppe der 2- und 4+-Achser im Kollektiv A12 und die der 3-Achser im Kollektiv A9 am aggressivsten sind (rot markierte Werte). Als logische Schlussfolgerung daraus, wird ein repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen generiert, das sich aus den aggressivsten Fahrzeuggruppen zusammensetzt. Dieses repräsentatives Schwerverkehrskollektiv, mit den Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen innerhalb der Gruppen, ist im nächsten Kapitel in Tabelle 5.1 dargestellt. Es setzt sich demnach aus den Fahrzeuggruppen der 2- und 4+-Achser der A12 und der Gruppe der 3-Achser der A9 zusammen.

Um einen Überblick zu bekommen, in welchem Verhältnis die Schädigungen der Vergleichskollektive (A9, A10, A12) und das repräsentative Schwerverkehrskollektiv zueinander stehen, wurden die Werte im Diagramm in Abbildung 4.21 aufgetragen. Wichtig ist dabei nicht zu vergessen, dass sich die Kollektive rein durch die Fahrzeugzusammensetzung innerhalb der Gruppen unterscheiden und für die Auftrittshäufigkeit der Gruppen noch immer die fiktiven Werte aus Tabelle 4.9 verwendet wurden. Es fällt auf, dass der Anteil der Fahrzeugklasse 82 im repräsentativen Schwerverkehrskollektiv auf 0% fällt. VC82 wird daher aus der Liste der relevanten, zu berücksichtigenden Fahrzeuge genommen. Die tatsächlichen Anteile der Gruppen der 2-, 3- und 4+-Achser kann der Anwender/Planer immer aus

Tabelle 4.11: Schädigungen der Vergleichskollektive A9, A10, A12

Schädigungen der Vergleichskollektive A9, A10, A12													
	2-Achser	3-Achser			4+ -Achser								
	VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC82	VC83	VC113	Summe
A9	2.5850E-09	3.6609E-09			5.4831E-08							6.1077E-08	
A10	2.2998E-09	2.1733E-09			5.3155E-08							5.7628E-08	
A12	3.4103E-09	3.2414E-09			7.0975E-08							7.7627E-08	

aktuellen Mautdaten entnehmen und für den Fall, dass keine Daten über die Fahrzeugzusammensetzung bekannt sind, sich dieses Bemessungskollektives bedienen, um es mit den Mautdaten zu kombinieren. Je geringer der Anteil der 2-Achser und je höher der Anteil der 3-Achser und besonders der 4+-Achser ist, desto aggressiver wird die Schädigung des Straßenoberbaus sein.

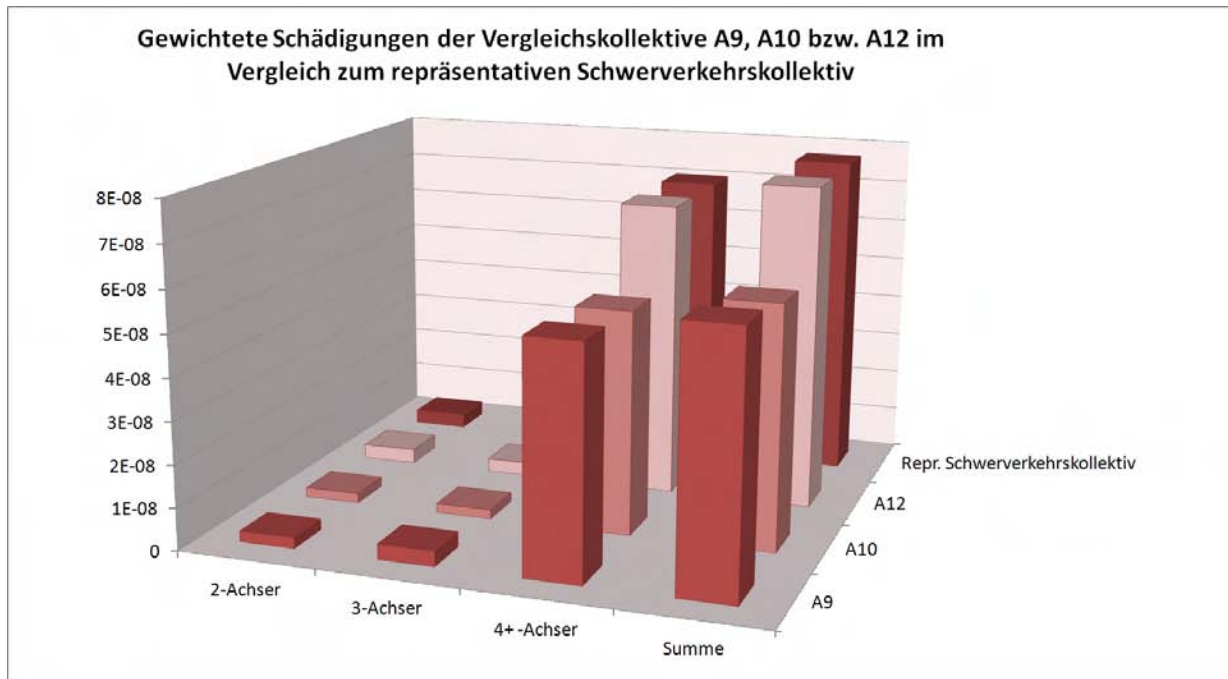


Abbildung 4.21: Gewichtete Schädigungen der Vergleichskollektive sowie des repräsentativen Schwerververkehrskollektivs

# 5 | Verbesserte Berücksichtigung der maßgeblichen Verkehrsbelastung

## 5.1 Repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für das A- und S-Netz

Das repräsentative Schwerverkehrskollektiv, das in Kapitel 4.5 abgeleitet wurde und sich aus den jeweils aggressivsten Fahrzeuggruppen der Kollektive A9, A10 und A12 zusammensetzt, ist in Tabelle 5.1 dargestellt. Es sind nur die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen innerhalb der Gruppen definiert. Die Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeuggruppen selbst werden nicht festgelegt und sollen immer vom Planer aus aktuellen Mautdaten ermittelt werden. Die mittleren Schädigungen der Fahrzeugklassen sind beispielhaft für den Aufbau Bautyp I, Lastklasse S in Tabelle 5.2 angegeben.

Tabelle 5.1: Repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen

Repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen										
2-Achser	3-Achser			4+ -Achser						
VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC83	VC113
100.00%	23.34%	32.49%	44.16%	2.65%	11.82%	3.08%	12.69%	3.60%	5.79%	60.37%












Tabelle 5.2: Mittlere Schädigungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen (Bautyp I, Lastklasse S)

Mittlere Schädigungen der Fahrzeugklassen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs										
2-Achser	3-Achser			4+ -Achser						
VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC83	VC113
aus Kollektiv A12	aus Kollektiv A9			aus Kollektiv A12						
2.4359E-08	8.1804E-08	4.3682E-08	3.5150E-08	8.8878E-08	4.2233E-08	3.8188E-08	9.5752E-08	5.2379E-08	6.3578E-08	1.0630E-07

## 5.2 Repräsentative Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeugklassen

Die Parameter zur Berechnung der Gesamtgewichtsverteilungen, der im repräsentativen Schwerverkehrskollektiv verwendeten Fahrzeugklassen auf A9 bzw. A12, sind in Tabelle 5.3 zusammengefasst. Die Berechnung der Gesamtgewichtsverteilung folgt Kapitel 3.4.3.












Tabelle 5.3: Parameter zur Ermittlung der Gesamtgewichtsverteilungen der Fahrzeugklassen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen

Repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen:			Parameter zur Ermittlung der Gesamtgewichtsverteilung							
Fahrzeuggruppe	Fahrzeugklasse	Bezeichnung	$\beta_1$	$\mu_1$	$\sigma_1$	$\beta_2$	$\mu_2$	$\sigma_2$	zulässiger Gewichtsbereich [kN]* <sup>1</sup>	$\Sigma$ Häufigkeiten < 1% * <sup>2</sup>
2-Achser aus Kollektiv A12		VC40	0,7770	126,3000	36,7700	0,2230	69,8400	18,2000	35 - 205	1,6373%
3-Achser aus Kollektiv A9		VC51	0,6852	250,8000	69,4600	0,3148	140,2000	25,2000	95 - 335	8,7537%
		VC54	0,9194	190,3000	45,1800	0,0806	263,9000	66,4900	95 - 295	4,4582%
		VC100	0,5981	207,4000	55,7700	0,4019	142,3000	17,8300	85 - 295	4,0057%
4+-Achser aus Kollektiv A12		VC57	0,0293	424,0000	139,9000	0,9707	256,4000	89,8800	115 - 415	9,4325%
		VC61	0,3955	0,3955	41,8700	0,6045	262,6000	64,8200	105 - 355	5,7311%
		VC62	0,8514	208,4000	49,2100	0,1486	302,3000	68,9100	115 - 375	3,7429%
		VC74	0,6803	295,2000	84,7200	0,3197	404,9000	32,8800	175 - 465	6,8203%
		VC81	0,3738	254,4000	58,5900	0,6262	336,9000	64,9300	165 - 445	4,8584%
		VC83	0,4897	247,3000	48,9500	0,5103	380,4000	67,3700	155 - 475	4,9372%
		VC113	0,3806	407,1000	34,9400	0,6194	305,7000	88,7900	175 - 465	7,5595%
Fahrzeuggröße nicht maßstabsgetreu										
* <sup>1</sup> Gesamtgewichte mit einer Auftrittshäufigkeit < 1% werden nicht berücksichtigt (siehe Kapitel zur Datenauswertung)										
* <sup>2</sup> die Summe der Häufigkeiten < 1% werden dem obersten Wert des zulässigen Gewichtsbereichs zugerechnet (siehe Kapitel zur Datenauswertung)										

## 5.3 Repräsentative Achslastverteilung der Fahrzeugklassen

Die Achslastkoeffizienten zur Berechnung der Achslastverteilungen, der im repräsentativen Schwerverkehrskollektiv verwendeten Fahrzeugklassen auf A9 bzw. A12, sind in Tabelle 5.4 zusammengefasst. Die Berechnung der Achslastverteilung erfolgt nach Kapitel 3.4.4.

Tabelle 5.4: Achslastkoeffizienten zur Ermittlung der Achslastverteilungen der Fahrzeugklassen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen

Repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen:			Achslastkoeffizienten $\alpha_i$ und $\beta_i$ der i-ten Achse (Mittelwert aus A9, A10, A12)				
Fahrzeuggruppe	Fahrzeugklasse	Bezeichnung	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$
			$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
2-Achser aus Kollektiv A12		VC40	0,3567	0,6433			
			10,4033	-10,4033			
3-Achser aus Kollektiv A9		VC51	0,1987	0,3767	0,4243		
			27,7667	-10,5200	-17,2333		
		VC54	0,2010	0,4423	0,3570		
			28,2333	-13,3667	-14,8400		
		VC100	0,1610	0,4130	0,4260		
			32,1000	-18,0000	-14,1400		
4+-Achser aus Kollektiv A12		VC57	0,1683	0,1733	0,3093	0,3487	
			12,1100	12,9367	-10,6633	-14,3667	
		VC61	0,1013	0,3640	0,2607	0,2740	
			42,0000	-12,9967	-13,6000	-15,4333	
		VC62	0,1090	0,2933	0,2953	0,3023	
			34,9000	8,7300	-21,3333	-22,3333	
		VC74	0,0835	0,2430	0,2330	0,2233	0,2170
			41,6333	3,2337	-16,7000	-14,8333	-13,4000
		VC81	0,0938	0,2563	0,2020	0,2193	0,2283
			37,6667	-5,3367	-7,0967	-12,1667	-13,2667
	VC83	0,0961	0,2173	0,1850	0,2450	0,2560	
		36,9333	4,1033	-2,1100	-16,6333	-22,2333	
	VC113	0,0716	0,2457	0,2293	0,2260	0,2277	
		46,4333	1,3700	-16,7000	-15,5667	-15,4667	
Fahrzeuggröße nicht maßstabsgetreu							



## 5.4 Überblick über neue Ansätze

Die Kenntnis der maßgebenden Verkehrsbelastung der Straßen ist eines der zentralen Aspekte der Straßenoberbaudimensionierung. Grundsätzlich kann man für alle zu dimensionierenden Bauteile festhalten, dass eine Dimensionierung nur möglich ist, falls die Belastung bekannt ist. Gerade deswegen ist es für einen Straßenplaner, falls keine Daten zur Verkehrsbelastung vorliegen, entscheidend, auf ein Kollektiv zurückgreifen zu können, dass die aktuelle Verkehrsbelastung genauest möglich abbildet. Das in dieser Arbeit abgeleitete repräsentative Schwerverkehrskollektiv muss immer in Kombination mit aktuellen Mautdaten angewandt werden.

Generell sind die Daten der Mauterfassung, wie bereits in Kapitel 3.3.2 erläutert, in sehr guter Qualität und flächendeckend vorhanden. Die Zuordnung von Fahrzeugklassen und die Bestimmung der Gesamtgewichtsverteilung sowie der Achslastverteilung liegen allerdings nur punktuell vor. Diesem Umstand Rechnung tragend, werden, je nach Datenverfügbarkeit, drei Planungsstufen festgelegt, welche in Abbildung 5.1 dargestellt sind. Diese dreistufige Variation der Datenverfügbarkeit soll es dem Planer erlauben, je nach Bedarfsfall und im gewünschten Ausmaß auf das repräsentative Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen zurückgreifen zu können bzw. eigens erhobene Daten zur Verkehrsbelastung zu verwenden. Diese Vorgehensweise gewährleistet eine individuell auf die Datenverfügbarkeit abgestimmte Maximierung des Detaillierungsgrades der Bestimmung der maßgebenden Verkehrsbelastung.

Planungsstufen zur Ermittlung der maßgebenden Verkehrsbelastung					
	Datenverfügbarkeit				Schlussfolgerung
	Mautdaten	Anteile der Fahrzeugklassen am Schwerverkehr	Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen		
	Aufgrund der Datenverfügbarkeit: Welche Daten dieser Arbeit helfen dem Planer den Detaillierungsgrad der Straßenoberbaudimensionierung zu erhöhen?				
Planungsstufe I	✓	✗	✗	➡	Verwendung des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs, sowie der zugehörigen Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen
Planungsstufe II	✓	✓	✗	➡	Verwendung der Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs
Planungsstufe III	✓	✓	✓	➡	höchste Datenverfügbarkeit

Abbildung 5.1: Dreistufige Variation der Datenverfügbarkeit

**Planungsstufe I** ist nach derzeitigem Stand der Datenbasis der Standardanwendungsfall. Der Vorgehensweise liegt zugrunde, dass weder für die Häufigkeitsverteilung der Fahrzeugklassen noch für die Gesamtgewichtsverteilung der einzelnen Fahrzeugklassen Daten zur Verfügung stehen. Es sind daher das, in dieser Arbeit abgeleitete, repräsentative Schwerverkehrskollektiv, sowie die dazugehörigen Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen zu verwenden.

**Planungsstufe II** unterscheidet sich von der Planungsstufe I durch die genaue Kenntnis der Häufigkeitsverteilung der Fahrzeugklassen. Diese Planungsstufe wird eingeführt, da die Erhebung von Fahrzeugklassen in einem bestimmten Streckenabschnitt relativ einfach durch händische Verkehrszählungen möglich ist und somit ein höherer Detaillierungsgrad bei der Straßenoberbau-Dimensionierung erreicht werden kann. In Verbindung mit den Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs können die mittleren Schädigungen des individuell vorliegenden Verkehrskollektivs für jeden Einzelfall berechnet werden.

**Planungsstufe III** ist bei optimaler Datengrundlage anzuwenden und liefert die genaueste Beanspruchungsvorhersage. Neben der Kenntnis der Mautdaten und der Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen, sind noch die Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen der Fahrzeugklassen bekannt. Ist es möglich diese Planungsstufe anzuwenden, ist der Planer nicht auf das repräsentative Schwerverkehrskollektiv, das in dieser Arbeit abgeleitet wurde, sowie die damit verbundenen Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen angewiesen. In diesem Fall kann, durch die hohe Datenverfügbarkeit, ein größtmöglicher Detaillierungsgrad bei der Straßenoberbau-Dimensionierung erzielt werden.

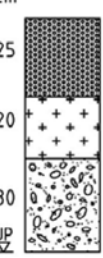
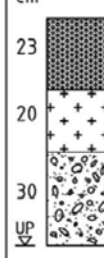


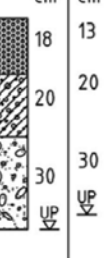

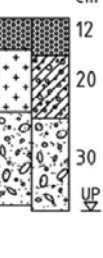
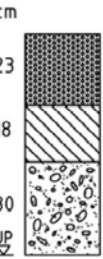
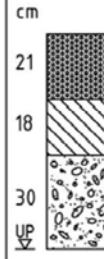
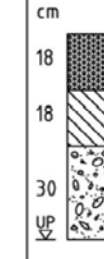


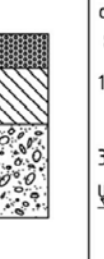

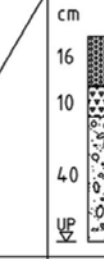
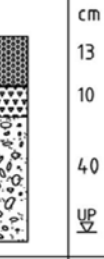


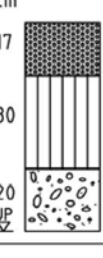
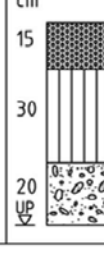

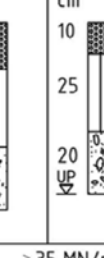

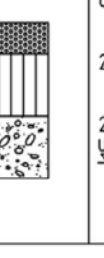

# 6 | Auswirkungen auf das Bemessungsergebnis

## 6.1 Vergleich Kollektiv aus RVS 03.08.63 mit repräsentativem Schwerverkehrskollektiv

Abschließend wird das in dieser Arbeit abgeleitete repräsentative Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen bezüglich seiner Schädigung mit dem Kollektiv der RVS 03.08.63 verglichen. Hierzu wird die Tabelle zur Festlegung der Schichtdicken aus besagter RVS entnommen (siehe Tabelle 6.1). Dieser Tabelle liegt ein Bemessungskollektiv zugrunde, das 1996 von LITZKA et al. [23] aufgestellt wurde und dessen Schädigung ebenfalls für alle Temperaturperioden nach MAIS [25], sowie den Temperaturbemessungen nach MILKOVICS [26] berechnet wurde. Die Tabelle gibt Auskunft darüber wie groß die Anzahl der maximal zulässigen Lastwechsel für unterschiedliche Bautypen und Lastklassen ist. Wichtig ist hierbei, dass die maximal zulässigen Lastwechsel in Normlastwechsel angegeben sind, das heißt in Lastwechsel der Normachse (= 100 kN). Da jedoch der Äquivalenzfaktor, der das Verhältnis zwischen maximal zulässigen Lastwechseln des Kollektivs und jenen der Normachse angibt, für Autobahnen laut RVS 03.08.63 [38] gleich eins ist, darf ein Vergleich mit den Werten aus Tabelle 6.1 und jenen der vorliegenden Arbeit durchgeführt werden. Nimmt man den reziproken Wert der maximal zulässigen Lastwechsel aus Tabelle 6.1 erhält man die mittlere Schädigung der bituminösen Schicht die das, der RVS 03.08.63 zugrundeliegende Kollektiv bei einmaliger Überfahrt eines Fahrzeugs dieses Kollektivs verursacht. Tabelle 6.1 zeigt diese Schädigungen für Bautyp I und die Lastklassen S bis V. Für die Lastklassen II bis V existieren für Bautyp I laut Tabelle 6.1 jeweils zwei Struktur-Varianten, wobei in dieser Arbeit, aus Gründen der Konsistenz, immer die linke Variante dieser Tabelle herangezogen wird.

Auf der Grundlage des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs wurden erneut Schadensberechnungen durchgeführt. Hierfür wurde auf die Verwendung der bereits abgeleiteten Schadensfunktionen verzichtet. Es wurde, mittels automatisierten Berechnungen, die genaue Schädigung jedes Belastungsfalls jeder Fahrzeugklasse, sowie jeder Temperaturperiode nach MAIS [25] getrennt ermittelt und anschließend gewichtet. So konnte einerseits ein noch höherer Detaillierungsgrad bei der Schadensberechnung erreicht werden und andererseits die Genauigkeit der abgeleiteten Schadensfunktionen überprüft werden. Die durch diese automatisierte Berechnung ermittelten mittleren Schädigungen der Fahrzeugklassen








Tabelle 6.1: Bemessungstabelle für Oberbauten mit bituminösen Befestigungen, entnommen aus RVS 03.08.63 [38]

Lastklasse (n = 20 Jahre)	S	I	II	III	IV	V	VI	
BNLW in Mio.	> 10 bis 25 <sup>1)</sup>	> 4 bis 10	> 1,3 bis 4	> 0,4 bis 1,3	> 0,1 bis 0,4	> 0,05 bis 0,1	≤ 0,05 <sup>3)</sup>	
<b>Bautype 1</b>	cm 25 20 30 UP 	cm 23 20 30 UP 	cm cm 20 22 20 20 30 30 UP UP 	cm cm 16 18 20 20 30 30 UP UP 	cm cm 13 15 20 20 30 30 UP UP 	cm cm 10 12 20 20 30 30 UP UP 	cm cm 7 9 15 15 30 30 UP UP 	
<b>Bautype 2<sup>2)</sup></b>	cm 23 18 30 UP 	cm 21 18 30 UP 	cm 18 18 30 UP 	cm 14 18 30 UP 	cm 11 18 30 UP 	cm 8 18 30 UP 	cm 6 18 30 UP 	
<b>Bautype 3</b>	/		/		cm 16 10 40 UP 	cm 13 10 40 UP 	cm 10 10 40 UP 	cm 7 10 40 UP 
<b>Bautype 4</b>	cm 17 30 20 UP 	cm 15 30 20 UP 	cm 15 25 20 UP 	cm 10 25 20 UP 	cm 10 20 20 UP 	cm 5 20 20 UP 	cm 5 18 20 UP 	
$E_{v1UP} \geq 35 \text{ MN/m}^2$								

1) Für höhere Belastungen ist eine gesonderte Dimensionierung erforderlich.

2) Die Dickenfestlegungen für das Asphaltpaket gelten nur, wenn auf der ZGKK- Schichte der höhere Abnahmewert  $E_{v1UP} = 120 \text{ MN/m}^2$  gemäß RVS 08.15.01 erreicht wird. Ansonsten sind die entsprechenden Dickenwerte der Bautype 1 maßgebend.

3) Bei gering belasteten Verkehrsflächen kann unter Berücksichtigung der saisonalen Verteilung der Schwerverkehrsbelastung und der klimatischen und hydrologischen Bedingungen bei Einhaltung der erforderlichen Mindestschichtdicken eine weitere Abminderung der Schichtdicken erfolgen.

-  bituminöse Tragschichte und Decke gemäß RVS 08.16.01
-  ungebundene obere Tragschichte aus recyceltem, gebrochenem oder gefrästem Asphaltgranulat RA
-  ungebundene obere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01 (C<sub>MR</sub>)
-  ungebundene obere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01 (C<sub>50/20</sub>, C<sub>50/2</sub>)
-  ungebundene obere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01, Zentralgemischte Kantkörnung (mind. C<sub>50/2</sub>)
-  stabilisierte Tragschichte (ST-Z, ST-T) gemäß RVS 08.17.01
-  ungebundene untere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01 (C<sub>MR</sub>)

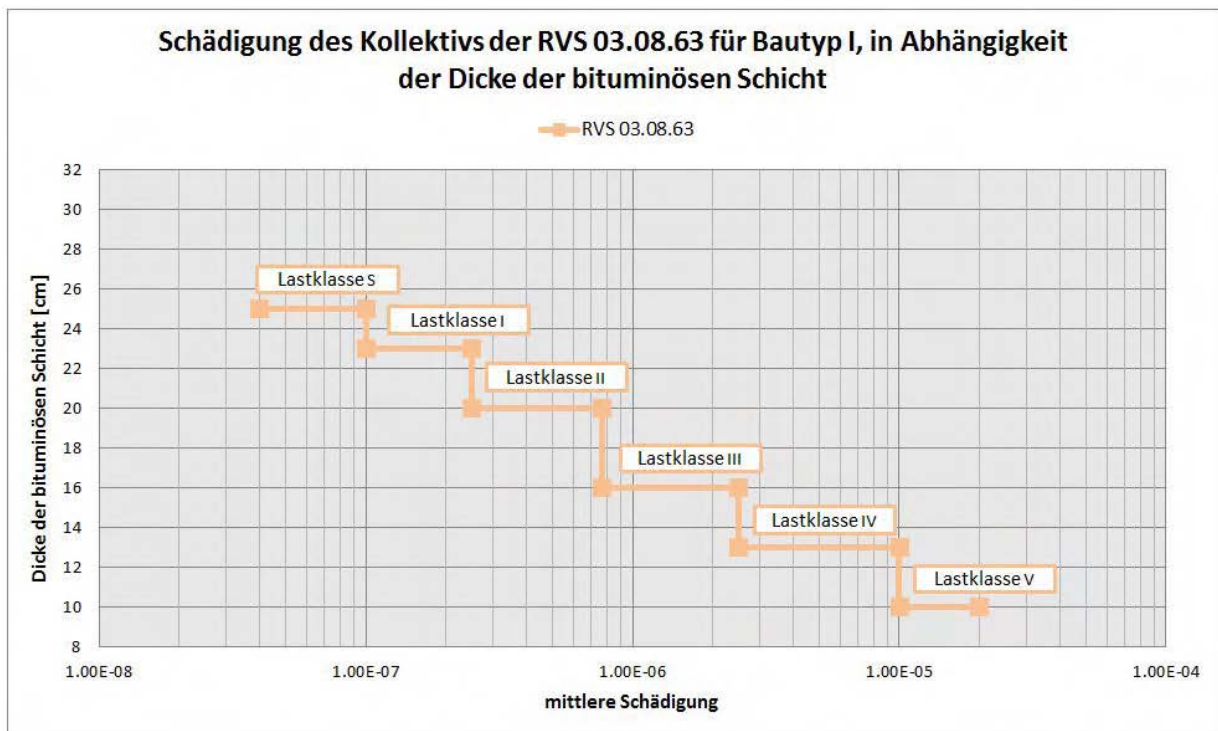


Abbildung 6.1: Einteilung der Lastklassen der RVS 03.08.63 nach mittlerer Kollektivschädigung in Abhängigkeit der Dicke der bituminösen Schicht

sind in Tabelle 6.2 dargestellt und korrelieren, wie erwartet, eng mit den durch die Schadensfunktionen berechneten Schädigungen in Tabelle 5.2. Wie bei den vorangegangenen Berechnungen wurde der Bautyp I der Lastklasse S herangezogen, nur wurde diesmal die Dicke der bituminösen Schicht schrittweise variiert, siehe Abbildung 6.2. Es gilt zu betonen, dass, im Gegensatz zu diesen automatisierten Berechnungen, die Schadensfunktionen ausschließlich für Bautyp I der Lastklasse S berechnet wurden.

Tabelle 6.2: Mittlere Schädigungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen (automatisierte Berechnung), berechnet für Bautyp I der Lastklasse S

Mittlere Schädigungen der Fahrzeugklassen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs (automatisierte Berechnung)										
2-Achser	3-Achser			4+ -Achser						
VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC83	VC113
aus Kollektiv A12	aus Kollektiv A9			aus Kollektiv A12						
2.4931E-08	8.5070E-08	4.7758E-08	3.5976E-08	1.1373E-07	4.6284E-08	3.9077E-08	1.0083E-07	6.7036E-08	8.0326E-08	1.0448E-07

Da das repräsentative Schwerverkehrskollektiv dieser Arbeit ausschließlich den Anteil der Fahrzeugklassen an den Fahrzeuggruppen definiert und den Anteil der Fahrzeuggruppen selbst offen lässt, hängt die endgültige Kollektivschädigung von den eingesetzten Mautdaten (Anteil der Fahrzeuggruppen) ab. Anhand von Mautdaten der ASFInAG aus den Jahren 2008 bis 2011, siehe Abbildung 3.4, werden zwei Mautverteilungen gewählt, die

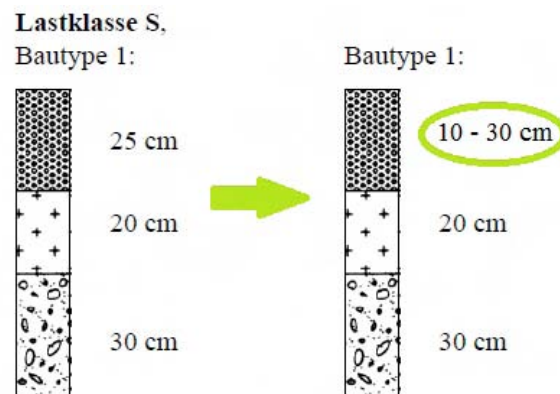


Abbildung 6.2: Variation der Dicke der bituminösen Schicht von Bautyp I

Tabelle 6.3: Mautdaten sortiert nach dem Anteil der 4+-Achser: Minimum, Median, Maximum

	Anteil der Fahrzeuggruppen an Mautdaten		
	2-Achser	3-Achser	4+-Achser
Minimum	37,86 %	22,43 %	39,72 %
Median	17,15 %	08,25 %	74,61 %
Maximum	08,18 %	03,93 %	87,89 %

in Kombination mit dem repräsentativen Schwerverkehrskollektiv, den günstigsten (= geringste Schädigung) und den ungünstigsten Fall (= höchste Schädigung) abbilden. Es liegt auf der Hand, dass die Schädigung des repräsentativen Schwerverkehrskollektiv am größten ist, wenn der Anteil der 4+-Achser maximal wird. Aus diesem Grund werden jene Mautdaten mit dem höchsten Anteil an 4+-Achsern und jene mit dem niedrigsten Anteil an 4+-Achsern ausgewählt. Diese Daten sind in Tabelle 6.3 eingetragen.

In Kombination dieser Mautdaten kann die mittlere Schädigung des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs bei einmaligem Übergang eines Fahrzeugs dieses Kollektivs ermittelt werden. Sie ergibt sich aus Multiplikation der Auftrittshäufigkeit der Fahrzeugklassen im repräsentativen Schwerverkehrskollektiv mit dem Anteil der zugehörigen Fahrzeuggruppe und der Schädigung der jeweiligen Fahrzeugklassen, sowie anschließender Summenbildung. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6.3 mit den Schädigungsklassen der RVS 03.08.63 überlagert.

Wie bereits erwähnt ist der Äquivalenzfaktor für Autobahnen laut RVS 03.08.63 [38] gleich eins, siehe auch Tabelle 1.2. Nun stellt sich natürlich die Frage, inwiefern sich dieser Äquivalenzfaktor, auf Basis der neuen Berechnungen und Erkenntnissen, weiterentwickelt hat. Um diesen Umstand näher zu erörtern, werden die bereits in Kapitel 4.4 berechneten Äquivalenzfaktoren herangezogen. Durch deren Gewichtung mit dem Median (sortiert nach dem Anteil der 4+-Achser) der Mautdaten, siehe Tabelle 6.3, sowie mit den Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen laut Tabelle 5.1 wird ein sogenannter mittlerer Äquivalenzfaktor für das gesamte repräsentative Schwerverkehrskollektiv ermittelt. Die einzelnen, sowie der

mittlere Äquivalenzfaktor sind in Tabelle 6.4 ersichtlich. Je nachdem welche Mautdaten zur Ermittlung des mittleren Äquivalenzfaktors verwendet werden, verschiebt sich dessen Magnitude.

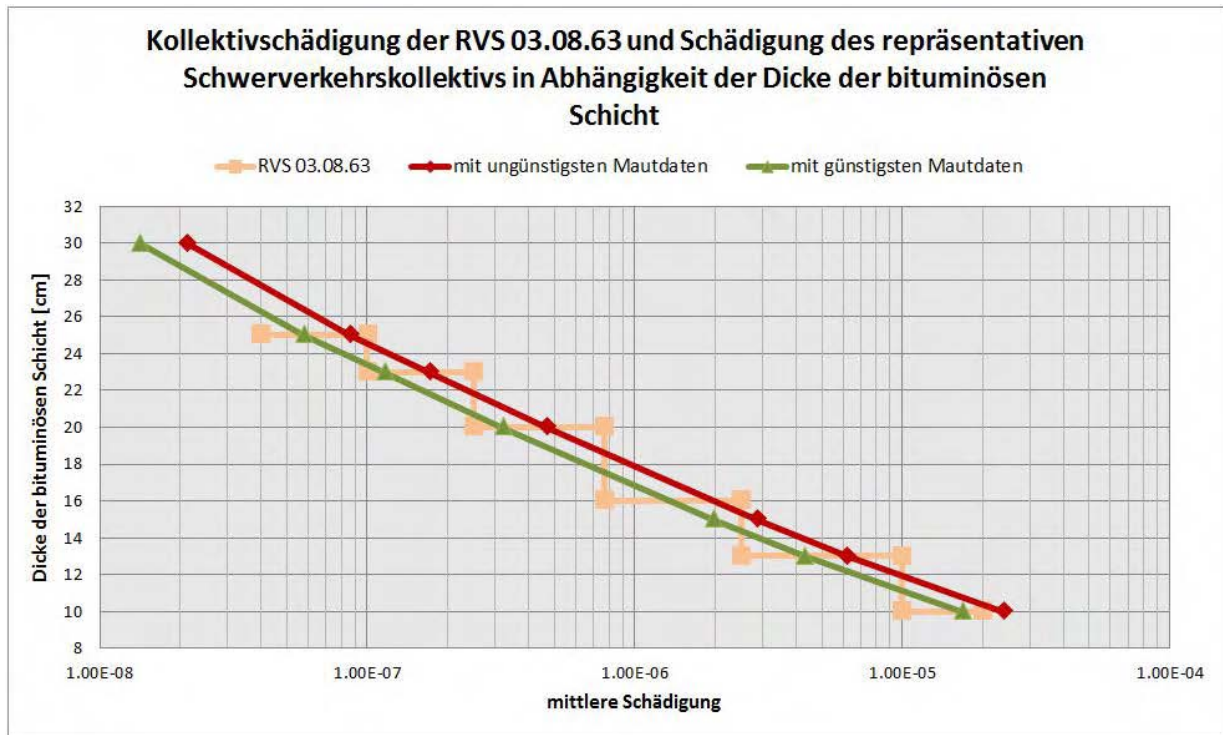


Abbildung 6.3: Vergleich der Schädigungsklassen des der RVS 03.08.63 [38] zugrundeliegenden Kollektivs und der Schädigungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs dieser Arbeit in Abhängigkeit der Dicke der bituminösen Schicht und der verwendeten Mautdaten

Tabelle 6.4: Einzelne Äquivalenzfaktoren, sowie der mittlere Äquivalenzfaktor des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs

Äquivalenzfaktoren der Fahrzeugklassen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs										
2-Achser	3-Achser			4+ -Achser						
VC40	VC51	VC54	VC100	VC57	VC61	VC62	VC74	VC81	VC83	VC113
aus Kollektiv A12	aus Kollektiv A9			aus Kollektiv A12						
0.4749	1.5947	0.8516	0.6852	1.7326	0.8233	0.7445	1.8667	1.0211	1.2394	2.0723
Mittlerer Äquivalenzfaktor $\bar{A}_{\text{Kollektiv}}$ für gesamtes Kollektiv unter der Anwendung des Medians der Mautdaten:										1.4749

## 6.2 Interpretation

Die Darstellung der Schädigungen (siehe Abbildung 6.3) auf Basis des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs in Verhältnis zu jenen, die der RVS 03.08.63 [38] entnommen wurden und ursprünglich aus dem Jahre 1996 stammen [23] sprechen eine klare Sprache.

Die Schädigungen, die auf dem repräsentativen Schwerververkehrskollektiv basieren, übersteigen jene des Kollektivs der RVS 03.08.63 [38]. Dies wird umso deutlicher, wenn man die Stufenbildung berücksichtigt, die in der RVS 03.08.63 [38] verwendet wurde. Werden nur die einzelnen Datenpunkte der Schädigungen der RVS 03.08.63 [38] verbunden, wie bei den Ergebnissen des repräsentativen Schwerververkehrskollektiv, erhält man eine, zu den Linien des repräsentativen Schwerververkehrskollektivs, schräg nach unten versetzte, leicht geschwungene Linie (bei halb-logarithmischem Maßstab), siehe Abbildung 6.4. Daraus ist ganz klar zu schließen, dass das repräsentative Schwerververkehrskollektiv, das in dieser Arbeit abgeleitet wurde, aggressiver bezüglich seiner Schädigungswirkung ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es in den vergangenen Jahren eine Entwicklung hin zu vermehrtem Schwerverkehrsaufkommen gegeben hat. Ein Trend, der noch nicht gebrochen zu sein scheint und begleitet wird von steigenden Achslasten und einem immer größeren Auslastungsgrad der Schwerverfahrzeuge. Die Kombination dieser Faktoren führt zu einer stärkeren Belastung des Straßennetzes, welche in Abbildung 6.4 deutlich zu sehen ist. Unterstrichen werden diese Daten noch durch die Berechnung des mittleren Äquivalenzfaktors, siehe Tabelle 6.4. Dieser liegt mit 1,47 deutlich über dem Äquivalenzfaktor für Autobahnen der RVS 03.08.63 [38], der auf 1,00 festgelegt ist. Die Ergebnisse zeigen somit eindeutig die gestiegene Belastung an, derer die österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen ausgesetzt sind. Es empfiehlt sich daher diese gestiegenen Beanspruchungen mithilfe des repräsentativen Schwerververkehrskollektivs in zukünftigen Planungen zu berücksichtigen.

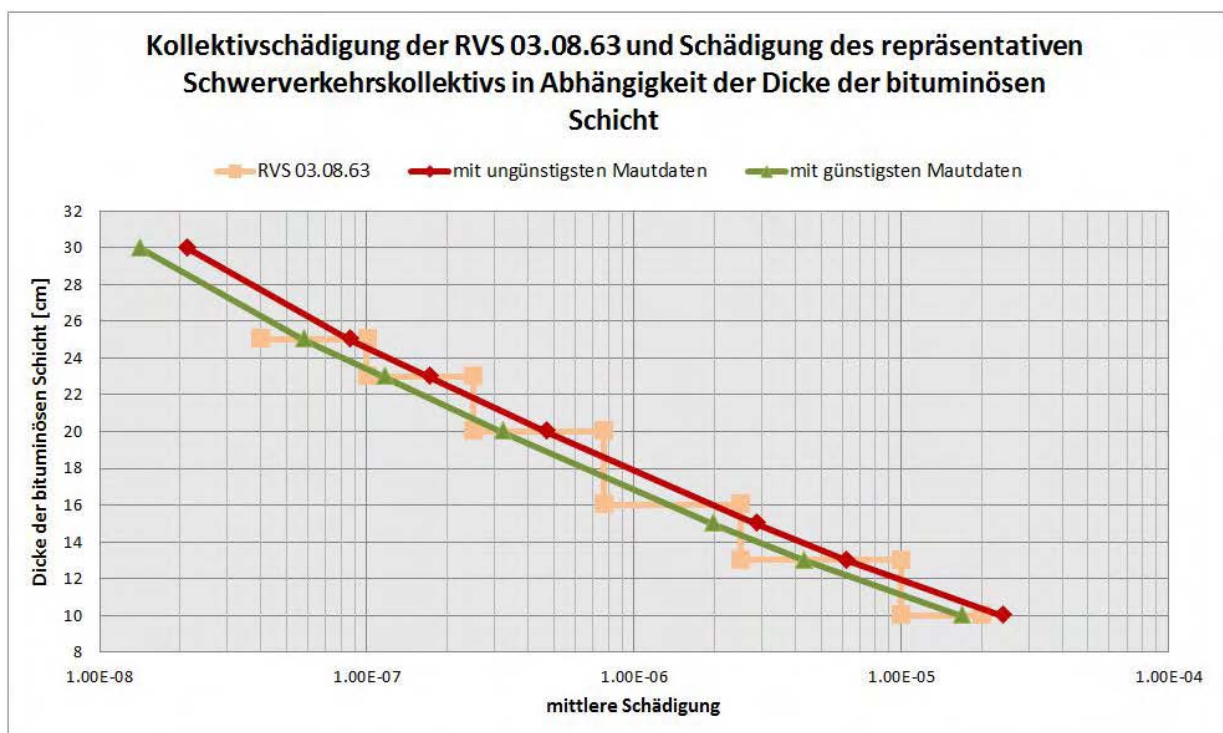


Abbildung 6.4: Vergleich der Schädigungen des der RVS 03.08.63 zugrundeliegenden Kollektivs und der Schädigungen des repräsentativen Schwerververkehrskollektivs dieser Arbeit in Abhängigkeit der Dicke der bituminösen Schicht und der verwendeten Mautdaten



## 7 | Zusammenfassung

Ziel dieser Diplomarbeit war es Wege und Mittel zu finden, um die gestiegene Verkehrsbelastung in der bituminösen Straßenoberbaudimensionierung berücksichtigen zu können.

Zunächst wurde die Aufgabenstellung abgegrenzt und die bisherige Geschichte zur Oberbaudimensionierung von Straßen erläutert. Anschließend wurde im nächsten Kapitel auf die wesentlichsten Faktoren, die sich auf die Straßenoberbaudimensionierung auswirken, eingegangen.

Besonders wichtig war es gesetzliche Bestimmungen zum Thema zu recherchieren, sowie Daten aus Verkehrszählungen einzuholen, als auch auszuwerten. Die Datenauswertung spielte insofern eine maßgebliche Rolle, als dass sie die Basis für alle folgenden Arbeitsschritte bildete. In Kapitel 3.4 wurden daher die Fahrzeuggruppen- und Fahrzeugklasseneinteilung, sowie deren Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen ausgearbeitet.

In Kapitel 4 wurde ausführlich die Vorgangsweise zur weiteren Verwendung der in Kapitel 3 vorbereiteten Daten erläutert. Zuerst wurde in Kapitel 4.1 die generelle Methodik zur Ableitung der Schadensfunktionen vorgestellt. Anschließend wurden Faktoren bezüglich ihres Einflusses auf die Schadenswirkung der Achsaggregate untersucht und für die weiteren Berechnungen festgelegt (siehe Kapitel 4.2). Die endgültige Aufstellung der Schadensfunktionen konnte nun realisiert werden und ist in Kapitel 4.3 beschrieben. Im darauffolgenden Kapitel wurden diese Schadensfunktionen auf die Fahrzeugklassen angewendet. Das bedeutet, es wurden unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen die mittleren Schädigungen aller Fahrzeugklassen für die jeweils unterschiedlichen Kollektive berechnet und zusätzlich in Relation zur mittleren Schädigung einer Normachse gestellt. Im Kapitel 4.5 wurde mittels eingehender Analyse aller auftretenden Kollektive und Fahrzeuggruppen ein repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen aufgestellt, das die, in den letzten Jahren gestiegene, Schwerverkehrsbelastung berücksichtigt und abbildet.

Das darauf folgende Kapitel 5 gibt dem Leser eine Zusammenfassung der erarbeiteten Resultate, sowie einen Überblick über neue Ansätze zur Berücksichtigung der Verkehrsbelastung in der Straßenoberbaudimensionierung.

Im abschließenden Kapitel 6 wurde untersucht, inwiefern sich das erarbeitete repräsentative Schwerverkehrskollektiv von dem, in der RVS 03.08.63 [38] verwendeten, Kollektiv abhebt und welche Auswirkungen dies auf zukünftige Dimensionierungen des bituminösen Straßenoberbaus in Österreich hätte.

Rückblickend kann festgehalten werden, dass eine Nicht-Berücksichtigung der gestiegenen Schwerverkehrsbelastung auf Autobahnen und Schnellstraßen im Besonderen und auf dem gesamten Straßennetz im Allgemeinen zu einer Unterdimensionierung des Oberbaus führt. Die vorliegende Arbeit gibt Auskunft über die Auswirkungen dieser gestiegenen Belastung österreichischer Autobahnen und Schnellstraßen und trägt zum Verständnis der Wechselwirkung Achsaggregat - bituminöse Tragschicht bei. Mit der Erstellung des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen ist es gelungen ein Instrument zur Verfügung zu stellen, das auf der einen Seite die tatsächliche Verkehrsbelastung detailliert durch die Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen der maßgebenden Fahrzeugklassen, sowie deren Auftrittshäufigkeiten abbildet und auf der anderen Seite flexibel genug ist, um es jederzeit mit aktuellen Mautdaten zu kombinieren.

Dankende Anerkennung gilt dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, sowie der Autobahn- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFiNAG) für die Finanzierung des Projektes „OBESTO-Implementierung des GVO- und LCCA-Ansatzes in die österreichische Bemessungsmethode für Straßenoberbauten“, welches im Rahmen der FFG-Initiative „Verkehrsinfrastrukturforschung 2011“ durchgeführt wurde und im Zuge dessen diese Arbeit erstellt wurde.

# Literaturverzeichnis

- [1] ALTENBACH H.: *Einführung in die Werkstoffmechanik*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig-Stuttgart, 1993.
- [2] ARAND W., S. DÖRSCHLAG, P. POHLMANN: *Einfluß der Bitumenhärte auf das Ermüdungsverhalten von Asphaltbefestigungen unterschiedlicher Dicke in Abhängigkeit der Tragfähigkeit der Unterlage, der Verkehrsbelastung und der Temperatur; Teil 1*, Band 558 der Reihe *Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministers für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Straßenwesen e.V.* Bundesmin. für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg, 1989.
- [3] ASFiNAG: *Die Vignette ... schon geklebt? - Infofolder Vignette*. <http://www.asfinag.at/maut/vignette/faq-und-downloads>. Stand: 30.08.2013, Rückfragen unter: ASFiNAG Rotenturmstraße 5-9 A-1010 WIEN.
- [4] ASFiNAG: *GO-BOX*. <http://www.go-maut.at/mautsystem/go-box>. Stand: 30.08.2013, Rückfragen unter: ASFINAG Maut Service GmbH Alpenstraße 99 A-5020 Salzburg.
- [5] ASFiNAG, BMVIT: *Dauerzählstellen*. <http://www.asfinag.at/unterwegs/dauerzaehlstellen>. Stand: 13.08.2013, Rückfragen unter: ASFINAG SERVICE GMBH - Verkehrsmanagement - Verkehrsstatistik; Klingerstraße 10 A-1230 WIEN.
- [6] BGBl. I Nr. 50/2002: *Bundesgesetz über die Auflassung und Übertragung von Bundesstraßen*.
- [7] BMVIT: *Straßenverkehrszählung 2010: Auswertung der Straßenverkehrszählung 2010 auf Autobahnen, Schnellstraßen und Landesstraßen B*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; Abteilung IV/ST1 und II/Infra 5, 2011.
- [8] BMVIT, Autorenteam VPÖ2025+: TRAFICO / IVWL et al. 2009: *VERKEHRSPROGNOSE ÖSTERREICH 2025+ Endbericht*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2009.
- [9] BMVIT, HERRY Consult: *ÖSTERREICH VERKEHR IN ZAHLEN - Ausgabe 2011*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Abteilung II/Infra 5, Wien, 2012.
- [10] BMVIT, HERRY Consult, Intrapformance, Snizek Verkehrsplanung: *Erhebung Alpenquerender Güterverkehr 2009 Österreich - Ergebnisbericht*, Band 215 der Reihe

- Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen.* Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Abt. II/Infra5, Wien, 2011.
- [11] BODE G.: *Kräfte und Bewegungen unter rollenden Lastwagenreifen.* Automobiltechnische Zeitschrift, 10, 1962.
- [12] BStMG: BGBl. I Nr. 109/2002: *Bundesgesetz über die Mauteinhebung auf Bundesstraßen (Bundesstraßen- Mautgesetz 2002 - BStMG) zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 135/2008.*
- [13] BURMISTER D. M.: *The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems.* Journal of Applied Physics, 1943.
- [14] CLARK S. K.: *Untersuchung der Verteilung des Auflagerdruckes in Luftreifen.* Kautschuk und Gummi, Kunststoffe, (8), 1969.
- [15] CONTINENTAL AG: *Luftdruckempfehlungen für Lkw- und Busreifen.* [http://www.conti-online.com/www/download/transport\\_de\\_de/misc/tech\\_info/download/luftdrucktabelle\\_de.pdf](http://www.conti-online.com/www/download/transport_de_de/misc/tech_info/download/luftdrucktabelle_de.pdf). Stand: 18.06.2013.
- [16] FISCHER R.: *Vergleich von Dimensionierungsmethoden des Straßenoberbaues in deutschsprachigen Ländern.* Diplomarbeit, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, Wien, 2002.
- [17] HAGEMANN R.: *Ein Verfahren zur Beurteilung flexibler Fahrbahnbefestigungen unter Berücksichtigung von Festigkeitshypothesen für Asphalte.* Mitteilungen aus dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, 1980.
- [18] HUANG Y. H.: *Pavement Analysis and Design.* Prentice-Hall, Inc., Lexington, USA, 1993.
- [19] KARNER T., M. RUDLOF, S. SCHARL: *ÖSTERREICHISCHE VERKEHRSTATISTIK 2010.* STATISTIK AUSTRIA - Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien, 2012.
- [20] KFG 1967: BGBl. Nr. 267/1967: *Bundesgesetz vom 23. Juni 1967 über das Kraftfahrwesen (Kraftfahrgesetz 1967 - KFG. 1967) zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 90/2013.*
- [21] LEON A.: *Über die Rolle des Trennbruches im Rahmen der Mohrschen Anstrengungshypothese.* Der Bauingenieur, 1943.
- [22] LITZKA J.: *Die Bemessung des Straßenoberbaues nach der neuen RVS 3.63.* Baumaschine, Baugerät, Baustelle, Heft 2, 1987.
- [23] LITZKA J., C. MOLZER, R. BLAB: *Modifikation der österreichischen Methode zur Dimensionierung des Straßenoberbaus,* Band 465. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten - Straßenforschung, Wien, 1996.
- [24] LORENZL H.: *Modell zur Ermittlung der Nutzungsdauer von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt in Abhängigkeit von der Bindemittelviskosität,* Band 13 der Reihe *Schrif-*

- tenreihe Straßenwesen*. Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig, Braunschweig, 1996.
- [25] MAIS R.: *Zur Beanspruchung von bituminösen Fahrbahnbefestigungen. Ein Beitrag zur Ermittlung standardisierter Fahrbahnbefestigungen mit Hilfe der Mehrschichtentheorie*, Band 138. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bonn, 1973.
- [26] MILKOVICS T.: *Ergänzende Berechnungen und Untersuchungen zur neuen Oberbaurichtlinie RVS 3.63*. Diplomarbeit, Institut für Geotechnik und Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Wien, 1984.
- [27] MINER M. A.: *Cumulative damage in fatigue*. Journal of applied mechanics. 12, (3), 1945.
- [28] MITSCHKE M.: *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1984.
- [29] MOLZER C.: *Modifikation der österreichischen Bemessungsmethode für Oberbauten mit bituminösen Befestigungen*. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung TU Wien. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung TU Wien, 1995.
- [30] MOLZER C., W. FUSSEIS, J. LITZKA, G. STEIERWALD: *Auswirkungen von Achslasterhöhungen auf das Bundesstraßennetz*, Band 450. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten - Straßenforschung, Wien, 1995.
- [31] NEUMANN U.: *Auswirkung unterschiedlicher Bereifungen von Nutzfahrzeugen auf die Spurrinnenbildung von bituminösen Decken*. Mitteilungen des Prüfamtes für Bau von Landverkehrswegen. Technische Universität München, 1991.
- [32] PALMGREN A.: *Die Lebensdauer von Kugellagern*. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure. 68, (14), 1924.
- [33] PETSCHACHER M.: *BWIM-Messung 2008 (A12)*. ASFiNAG-Service Gesellschaft Süd, PEC Petschacher Consulting, 2009.
- [34] PETSCHACHER M.: *BWIM-Messung 2009 (A9)*. ASFiNAG-Service Gesellschaft Süd, PEC Petschacher Consulting, 2009.
- [35] PETSCHACHER M.: *BWIM-Messung Juni 2008 (A10)*. ASFiNAG-Service Gesellschaft Süd, PEC Petschacher Consulting, 2009.
- [36] RICHTLINIE 1999/62/EG: *Richtlinie 1999/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1999 über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge*. zuletzt geändert durch Richtlinie 2006/38/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006.
- [37] RUDLOF M.: *STRASSENVERKEHRSZÄHLUNG 2000*. STATISTIK AUSTRIA - Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien, 2002.
- [38] RVS 03.08.63: *Oberbaubemessung*. Forschungsgemeinschaft Straße-Schiene-Verkehr, Wien, 2008.

- 
- [39] WISTUBA M.: *Maßgebende Temperatur für die analytische Oberbaubemessung in Österreich*. Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung: Klimaeinflüsse auf Asphaltstraßen. Technische Universität Wien, Wien, 2003.
- [40] WOLF A., R. FIELENBACH: *Modell zur Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Belastung/Beanspruchung des BAB-Netzes im Hinblick auf straßenbautechnische Fragestellungen*, Band S61 der Reihe *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)*. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach, 2010.
- [41] ZAHNMESSER W.: *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik - Auswirkungen verschiedener Lastzugkombinationen auf die Straßenbeanspruchung*, Band 327 der Reihe *Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministers für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.* Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg, 1981.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Leon'sche Parabel: links für Schubbruch ohne Möglichkeit des Trennbruchs ( $1 \leq c < 3$ ); rechts mit Möglichkeit des Trennbruchs ( $c \geq 3$ ) LORENZL [24]	11
2.1	Beispiel für die Druckverteilung unter einem unprofilierten, leerlaufenden Reifen [11]	17
2.2	Das Fahrzeug als Zweimassensystem (FGSV, 1983)	18
2.3	Aufkommen im Güterverkehr in Österreich 1960 - 2007 aus BMVIT [8]	20
2.4	Transitverkehr durch Österreich 1960 - 2007 aus BMVIT [8]	21
2.5	Anteile der Verkehrsarten nach Verkehrsträger am Transportaufkommen im Güterverkehr 2009 aus BMVIT [10]	21
3.1	Maut- und Vignettenpflichtige Strecken in Österreich ASFiNAG [3]	23
3.2	Hochrechenschema der händischen Straßenverkehrszählung 2000 [37]	27
3.3	Abweichung des basierend auf den 3- und 4-Stunden-Stichproben berechneten jahresdurchschnittlichen täglichen Verkehrs von den Werten der automatischen Zählung [37]	28
3.4	mittlerer Anteil der Fahrzeuggruppen 2-, 3- und 4(+)-Achser für 198 Messstellen im ASFiNAG-Netz für die Jahre 2008-2011; SV = Schwerverkehr	29
3.5	Schwerverkehr nach Gewicht; Montag, Mai 2009, A9; GVW = gross vehicle weight, FBR = Fahrbahn rechts, FBL = Fahrbahn links	30
3.6	Übersicht der BWIM-Messstellen in Österreich	30
3.7	Verteilung des jährlichen durchschnittlichen täglichen Lastverkehrs (JDT-LV) für sämtliche 198 Messstellen, sowie Lage der BWIM-Messungen	31
3.8	Beispiel für ein Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast [kN] (für VC113 auf der A9); pdf = probability density function, GVW = gross vehicle weight; PETSCHACHER [34]	34
3.9	Gesamtgewichtsverteilung am Beispiel des VC113 mit Markierung jener Gesamtgewichtsfälle, deren Auftrittshäufigkeiten unter einem Prozent liegen	36
3.10	Achslasten der 2. Achse für die Fahrzeugklasse (VC) 113	37
4.1	Ablauf zur Erstellung der Schadensfunktionen	40
4.2	Standardaufbau der Bautype 1 für die Lastklasse S gemäß RVS 03.08.63 [38]	40
4.3	Angabe der Rechenbedingungen	41
4.4	Curve-fitting am Beispiel einer Einzelachse, $R^2$ gibt das Bestimmtheitsmaß des Polynoms an	42

4.5	Parametervariation . . . . .	43
4.6	Schädigungsverlauf eines Tandemachsaggregats mit 100 kN Radlast und Vergleich mit der einfachen, sowie zweifachen Schädigung einer Einzelachse mit 100 kN Radlast . . . . .	43
4.7	Schädigungsverlauf eines Tandemachsaggregats mit 30 kN Radlast und Vergleich mit der einfachen, sowie zweifachen Schädigung einer Einzelachse mit 30 kN Radlast . . . . .	44
4.8	Schädigungsverlauf eines Tridemachsaggregats mit 30 kN Radlast und Vergleich mit der einfachen, sowie dreifachen Schädigung eines Einzelachsaggregats mit 30 kN Radlast . . . . .	45
4.9	Entwicklung der Spannungen $\sigma_{xx}$ , $\sigma_{yy}$ , $\sigma_{zz}$ . . . . .	45
4.10	Vergleich Hauptnormalspannungen mit den Spannungen $\sigma_{xx}$ , $\sigma_{yy}$ , $\sigma_{zz}$ . . . . .	46
4.11	Schadensfunktionen des Tandemachsaggregats mit einem Lastverhältnis von 1,0, 1,3 bzw. 1,9 . . . . .	48
4.12	Gesamtheit der Schadensfunktionen; LV=Lastverhältnis der Achsen . . . . .	49
4.13	Schema zur Ermittlung der mittleren Schädigungen der Fahrzeugklassen bei einmaligem Fahrzeugübergang . . . . .	52
4.14	A9: Mittler Schädigung der Fahrzeugklassen, sowie deren Äquivalenzfaktoren (entsprechen Schädigung in Bezug zur Normachse (100 kN)) . . . . .	53
4.15	A10: Mittler Schädigung der Fahrzeugklassen, sowie deren Äquivalenzfaktoren (entsprechen Schädigung in Bezug zur Normachse (100 kN)) . . . . .	53
4.16	A12: Mittler Schädigung der Fahrzeugklassen, sowie deren Äquivalenzfaktoren (entsprechen Schädigung in Bezug zur Normachse (100 kN)) . . . . .	54
4.17	A9: Anteil der Fahrzeugklassen an der Schädigung des Kollektivs in absoluten und relativen Werten . . . . .	57
4.18	A10: Anteil der Fahrzeugklassen an der Schädigung des Kollektivs in absoluten und relativen Werten . . . . .	57
4.19	A12: Anteil der Fahrzeugklassen an der Schädigung des Kollektivs in absoluten und relativen Werten . . . . .	58
4.20	Vergleich des Anteils der Fahrzeugklassen an der jeweiligen Schädigung des Kollektivs (A9, A10 bzw. A12) . . . . .	58
4.21	Gewichtete Schädigungen der Vergleichskollektive sowie des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs . . . . .	60
5.1	Dreistufige Variation der Datenverfügbarkeit . . . . .	64
6.1	Einteilung der Lastklassen der RVS 03.08.63 nach mittlerer Kollektiv-Schädigung in Abhängigkeit der Dicke der bituminösen Schicht . . . . .	68
6.2	Variation der Dicke der bituminösen Schicht von Bautyp I . . . . .	69
6.3	Vergleich der Schädigungsklassen des der RVS 03.08.63 [38] zugrundeliegenden Kollektivs und der Schädigungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs dieser Arbeit in Abhängigkeit der Dicke der bituminösen Schicht und der verwendeten Mautdaten . . . . .	70



---

6.4 Vergleich der Schädigungen des der RVS 03.08.63 zugrundeliegenden Kollektivs und der Schädigungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs dieser Arbeit in Abhängigkeit der Dicke der bituminösen Schicht und der verwendeten Mautdaten . . . . .	71
--	----

# Tabellenverzeichnis

1.1	Äquivalenzfaktoren der Fahrzeugkategorien aus RVS 03.08.63 [38] . . . . .	8
1.2	Äquivalenzfaktoren nach Straßenkategorien aus RVS 03.08.63 [38] . . . . .	8
1.3	Einteilung des Jahres in 6 Klimaperioden bzw. in 12 Temperaturperioden in Abhängigkeit von der Jahres- und Tageszeit, nach MAIS [25] . . . . .	9
1.4	Charakteristische mittlere Temperaturen in der Mitte der bituminösen Schicht in Abhängigkeit von der Jahreszeit und der Schichtstärke $h_1$ , MILKOVICS [26] . . . . .	10
1.5	Dynamische E-Moduln $E_{dyn}$ , UG für den Untergrund und die ungebundenen Tragschichten in Abhängigkeit von der Jahreszeit in $MN/m^2$ LITZKA et al. [23] . . . . .	10
1.6	Aufteilungsfaktoren $p_j$ der vorhandenen Verkehrsbelastung für die 12 Temperaturperioden im österreichischen Oberbaubemessungsmodell, WISTUBA [39] . . . . .	14
3.1	Begriffsdefinitionen . . . . .	24
3.2	Einteilung der Fahrzeugklassen nach Achsabständen . . . . .	32
3.3	Einteilung der Achsen zu Achsaggregaten gemäß KFG 1967 [20] und den BWIM Berichten [34] [35] [33] . . . . .	33
3.4	Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen laut den BWIM-Berichten von PETSCHACHER [34] [35] [33] . . . . .	33
3.5	Parameter zur Ermittlung der Gesamtgewichtsverteilungen der Fahrzeugklassen der Kollektive A9, A10 und A12 . . . . .	35
3.6	Klasseneinteilung der Gesamtgewichtsverteilung . . . . .	36
3.7	Mittelwert der Achslastkoeffizienten aus A9, A10 und A12 . . . . .	38
4.1	Zusammenfassung Parameterstudie . . . . .	48
4.2	Ergebnisse des Curve-fittings der Schadensfunktionen (durchgeführt mit dem Programm MATLAB) . . . . .	50
4.3	Korrektur der Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen; korrigierte Werte sind in Rot dargestellt . . . . .	55
4.4	Differenz der Auftrittshäufigkeiten der Kollektive zu 1 bzw. 100% . . . . .	55
4.5	Zuordnung der Auftrittshäufigkeits-Differenzen zu den Fahrzeugklassen mit den höchsten mittleren Schädigungen; korrigierte Werte sind in Rot dargestellt	56
4.6	Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeuggruppen . . . . .	56

---

4.7	Übersicht über die Schädigung der Fahrzeuggruppen unter Berücksichtigung des Anteils der FG an der Verkehrsbelastung (VB) . . . . .	56
4.8	Auftrittshäufigkeiten der Fahrzeugklassen innerhalb der Fahrzeuggruppen [%] . . . . .	59
4.9	Fiktive Gruppenhäufigkeiten . . . . .	59
4.10	Auftrittshäufigkeiten der Vergleichskollektive A9, A10, A12 . . . . .	59
4.11	Schädigungen der Vergleichskollektive A9, A10, A12 . . . . .	60
5.1	Repräsentatives Schwerverkehrskollektiv für Autobahnen und Schnellstraßen . . . . .	61
5.2	Mittlere Schädigungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen (Bautyp I, Lastklasse S) . . . . .	61
5.3	Parameter zur Ermittlung der Gesamtgewichtsverteilungen der Fahrzeugklassen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen . . . . .	62
5.4	Achslastkoeffizienten zur Ermittlung der Achslastverteilungen der Fahrzeugklassen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen . . . . .	63
6.1	Bemessungstabelle für Oberbauten mit bituminösen Befestigungen, entnommen aus RVS 03.08.63 [38] . . . . .	67
6.2	Mittlere Schädigungen des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs für Autobahnen und Schnellstraßen (automatisierte Berechnung), berechnet für Bautyp I der Lastklasse S . . . . .	68
6.3	Mautdaten sortiert nach dem Anteil der 4+-Achser: Minimum, Median, Maximum . . . . .	69
6.4	Einzelne Äquivalenzfaktoren, sowie der mittlere Äquivalenzfaktor des repräsentativen Schwerverkehrskollektivs . . . . .	70