Diploma Thesis

Expansion of the scope of the RVS 03.08.64 – Strengthening of asphalt pavements

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Erweiterung des Anwendungsbereichs von RVS 03.08.64 - Oberbauverstärkungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Wolfgang Hasenöhrl
Matr. Nr.: 01426530

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **Ronald Blab**
Ass. -Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **Lukas Eberhardsteiner**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Straßenwesen
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/E230-3, A-1040 Wien

Wien, im November 2021

Wolfgang Hasenöhrl

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich im Laufe meines Studiums an der Technischen Universität Wien unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab, dem Leiter des Forschungsbereich Straßenwesen, für die Möglichkeit meine Diplomarbeit an diesem Institut zu verfassen. Besonders möchte ich mich bei Herrn Ass. -Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Lukas Eberhardsteiner bedanken, für die hervorragende Betreuung und die große Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit. Dank Herrn Eberhardsteiner konnte ich dieses spannende Thema bearbeiten und mich in diesem Bereich weiterbilden.

Der größte Dank gebührt meinen Eltern, welche mich in jeder noch so schwierigen Lebenslage immer begleitet, motiviert und gestärkt haben. Durch ihre Unterstützung konnte ich eine unbeschwerte Studienzeit erleben und meinen Horizont in vielen Lebensbereichen erweitern. Ohne Sie wäre ein Erfolg wie diese nicht möglich. Zusätzlich bedanke ich bei meiner Schwester Stephanie, welche immer eine verständnisvolle Zuhörerin bei diversem Problem war.

Noch wichtiger als der Abschluss meines Studiums sind die großartigen Freundschaften, welche ich im Laufe meines Studiums knüpfen konnte. Hierbei möchte ich vor allem Max, Nena, und Christoph hervorheben. Unsere Freundschaft ist für mich die größte Errungenschaft dieses Studiums. Ohne eure Unterstützung und ständige Motivation hätte ich wahrscheinlich dieses Studium nicht durchgezogen. Des Weiteren möchte ich mich bei meine Studienfreunden Jan, Michael, Sebastian, Kerstin und Arthur mit denen ich eine Vielzahl von Mastervorlesungen bestritten habe bedanken. Ich bedanke mich bei euch allen für die schöne gemeinsame Zeit an der Universität und vor allem die lustigen Erlebnisse abseits des Studiums.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

KURZFASSUNG

Schlagwörter: Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen; Tragfähigkeit; Vergleichsmethode; Resttragfähigkeit; Ausgleichschichtdicke;

Österreichs Straßennetz gehört pro Meter je Einwohner zu den längsten und dichtesten Infrastrukturen Europas. Neubauprojekte werden in Zukunft immer seltener, jedoch nimmt die Relevanz der baulichen Erhaltung zu. In den kommenden Jahren wird der Schwerpunkt darin liegen, die bestehende Infrastruktur zu sanieren und an die gewachsenen Anforderungen der modernen Zeit anzupassen. Vor allem Asphaltstraßen, welche in der Zeit des exorbitanten Straßenbaubooms der 1960er bis 2000er Jahre entstanden sind, benötigen dringend eine Erneuerung. Jedoch fehlt es der österreichischen Staatskasse für eine flächendeckende Erneuerung an dafür benötigtem Budget, wodurch das Straßendurchschnittsalter von Jahr zu Jahr ansteigt.

Um diesem Trend entgegenzuwirken, benötigt es die Entwicklung von kosteneffizienten baulichen Erhaltungsmaßnahmen bzw. die Optimierung von bewährten Verfahren. Die Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen, eine bauliche Erhaltungsmaßnahme für die Sanierung/Erneuerung Österreichs Straßen, wird in den kommenden Jahren eine zentrale Rolle einnehmen. Als Oberbauverstärkung wird die Erhöhung der Tragfähigkeit einer Straßenkonstruktion, durch den Auftrag einer oder mehrerer ergänzender Asphaltschichten oder das Erneuern von einzelner, bzw. aller, Oberbauschichten verstanden. Das Verfahren kann als Tiefeinbau, teilweiser Tiefeinbau oder Hocheinbau erfolgen.

Die aktuell gültige Richtline RVS 03.08.64 „Bautechnische Details – Oberbauverstärkung der Asphaltstraße“ stammt aus dem Jahr 1992 und benötigt dringend eine Überarbeitung bzw. Weiterentwicklung der darin angeführten Methoden. In Zuge eines Forschungsprojekts am Forschungsbereich Straßenwesen wurde die aktuell gültige RVS 03.08.64;1992 umfassend überarbeitet. Hierbei wurde der Anwendungsbereich der RVS für die Lastklassen LK0,05 – LK10 berücksichtigt. Aufgrund der Bedeutsamkeit dieser baulichen Erhaltungsmethode ist die öffentliche Hand jedoch daran interessiert, neben der Anwendbarkeit für niedrige Lastklassen, auch eine Applikation für die höhere Lastklassen zu überprüfen.

Gegenstand dieser wissenschaftlichen Arbeit ist die Erweiterung des Anwendungsbereichs der RVS 03.08.64 Oberbauverstärkungen von Asphaltstraßen auf die Lastklassen LK25 – LK163.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

ABSTRACT

Keywords: strengthening of asphalt pavements; load capacity; the comparison method; residual load capacity; compensation layer thickness

Austria's road network is one of the longest and densest infrastructures in Europe per meter per inhabitant. New construction projects will decline in the future, but structural maintenance is on the rise. In the next years, the focus will be laid on rehabilitating the existing infrastructure and adapting it to the growing demands of modern times. Especially the asphalt pavements, which were built during the road construction boom of the 1960s until the 2000s, are in urgent need of renewal. However, the Austrian road maintenance budget is insufficient to fund a comprehensive renewal, which means that the average age of roads is increasing from year to year.

In order to counteract this trend, the development of cost-efficient structural maintenance measures or the optimization of already established procedures is required. The strengthening of asphalt pavements, which is one of the structural maintenance measures, will play a central role in the rehabilitation/renewal of Austrian roads in the coming years. The strengthening of asphalt pavements is defined as the increase of the load-carrying capacity of a road structure by the application of one or more supplementary asphalt layers or the renewal of individual or all pavement layers. The procedure can be carried out as deep paving, partial deep paving, or high paving.

The currently valid guideline RVS 03.08.64 " Strengthening of asphalt pavements" originates from 1992 and urgently requires a revision or further development of the therein described methods. In the course of a research project finished at the Research Center for Pavement Engineering, the currently valid RVS 03.08.64;1992 was comprehensively renewed. The scope of application of the RVS considered the load classes LK0.05 to LK10. However, due to the importance of this structural maintenance method, public authorities are interested in checking the applicability for the higher load classes, in addition to the aforementioned lower load classes.

The subject of this scientific work is the extension of the scope of RVS 03.08.64 to the load classes LK25 - LK163

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

„It always seems impossible until it's done! "

(Es scheint immer unmöglich, bis es geschafft ist!)

(Nelson Mandela)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG I

KURZFASSUNG III

ABSTRACT V

Inhaltsverzeichnis VII

1 Einleitung 1

1.1 Motivation und Relevanz 1

1.2 Forschungsmethodik und Forschungsfragen 2

1.2.1 Forschungsmethode 2

1.2.2 Forschungsfrage 3

1.3 Aufbau der Arbeit 3

2 Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen 5

2.1 Straßenerhaltung 5

2.1.1 Betriebliche Straßenerhaltung 6

2.1.2 Bauliche Straßenerhaltung 6

2.2 Bauliche Erhaltungsmaßnahme - Oberbauverstärkung 8

2.2.1 Richtlinien zur Dimensionierung von Oberbauverstärkungen 9

2.2.2 Varianten der Oberbauverstärkung 9

2.2.3 Praxis 12

3 Tragfähigkeit von Asphaltstraßen 13

3.1 Begriffsdefinition Tragfähigkeit 13

3.2 Tragfähigkeitsbeeinflussende Faktoren 13

3.2.1 Äußere Einwirkungen 14

3.2.1.1 Verkehrsbelastung und Klima 14

3.2.2 Innere Einwirkungen 15

3.2.2.1 Konstruktive Gegebenheiten 15

3.2.2.2 Struktureller Zustand 16

3.3 Untergrundtragfähigkeit 19

3.3.1 Statischer Verformungsmodul E_V 20

3.3.2 Dynamischer Verformungsmodul $E_{dyn,UG}$ 20

3.4 Tragfähigkeitsbeurteilung von Asphaltstraßen 21

3.4.1 Statische Deflektionsmessung 21

3.4.1.1 Benkelmanbalken 21

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

3.4.1.2 Optische Deflektionsmessung ... 23
3.4.2 Dynamische Deflektionsmessung ... 24
3.4.2.1 Fallgewichtsdeflektometer FWD ... 24
3.4.2.2 Dynamische Lastplatte ... 25

4 Methoden der Bemessung von Oberbauverstärkungen ... 26

4.1 Vergleichsmethode [2] ... 26
4.1.1 Österreichische Dimensionierungsverfahren lt. RVS 03.08.63 [21] ... 27
4.1.2 Ermittlung der Resttragfähigkeit ... 29
4.1.2.1 Empirische Methode ... 30
4.1.2.2 Deflektionsmethode [2] ... 30
4.2 Rechnerische Dimensionierung der Verstärkungsschichtdicke [2] ... 32
4.3 Vorgehensweise in der Praxis ... 33

5 Erweiterung des Anwendungsbereichs der Vergleichsmethode für LK25 bis LK163 ... 34

5.1 Eingangsgrößen der Simulationsberechnung ... 34
5.1.1 Verkehrsbelastung ... 34
5.1.2 Bemessungstabellen ... 34
5.1.3 Klima ... 35
5.1.4 Materialeigenschaften ... 38
5.1.4.1 Untergrund ... 39
5.1.4.2 Ungebundene Schichten ... 39
5.1.4.3 Hydraulisch stabilisierte Schicht ... 40
5.1.4.4 Bituminös gebundene Schichten ... 40
5.2 Methoden der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen ... 43
5.2.1 Bestimmung der maßgebenden Primärwirkungen ... 43
5.2.2 Festigkeitshypothese [23] ... 44
5.2.3 Ermüdungskriterium [24] ... 46
5.2.4 Dimensionierungsnachweis [24] ... 47

6 Beschreibung der Simulationsberechnungen ... 49

6.1 Dimensionierungsnachweis ... 49
6.1.1 Dimensionierungsnachweis für die LK25_AS1+ 4cm Oberbauverstärkung ... 50
6.1.1.1 E-Modul, Querdehnungszahl, Schichtdicken ... 50
6.1.1.2 Bestimmung der maßgeblichen Primerwirkung ... 57
6.1.2 Ermüdung ... 59
6.1.3 Dimensionierungsnachweis ... 60
6.2 Dimensionierungsnachweise für weitere Aufbauvarianten ... 61

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.3 Ausgleichschichtdicke DA 61
6.3.1 Ermittlung der Ausgleichschichtdicke für Bautyp AS1 (Tp I) 61
6.3.1.1 Trendlinien 61
6.3.1.2 Bestimmung von N zul mittels Funktionsgleichung für Aufbauten des Bautyps AS1 (Temperaturzone I) 63
6.3.1.3 Überprüfen der Ausgleichsschichtdicke DA für Aufbauten des Bautyps AS1 (Temperaturzone I) 66
6.3.2 Ausgleichsschichtdicke DA 67

7 Forschungsergebnisse 68

7.1 Beantwortung der Forschungsfrage und Empfehlung 68
7.2 Zusammenfassung 69

8 Verzeichnisse 71

8.1 Literaturverzeichnis 71
8.2 Abbildungsverzeichnis 72
8.3 Tabellenverzeichnis 73

9 Anhang 75

9.1 Trendlinien 75
9.2 N zul abhängig von Oberbauverstärkungsdicke und Resttragfähigkeit 85
9.2.1 Bautyp AS1 85
9.2.2 Bautyp AS2 87
9.2.3 Bautyp AS4 91

10 Eidesstattliche Erklärung 95

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1 Einleitung

Am Anfang des ersten Kapitels wird die Motivation für die Erstellung der Diplomarbeit sowie der Grund, warum die Bestimmung der Resttragfähigkeit einer Asphaltstraße im Zuge von Oberbauverstärkungsmaßnahmen entscheidend für die bauliche Erhaltung ist, beschrieben. Nachfolgend wird auf die Vorgehensweise für die Beantwortung der Forschungsfragen eingegangen. Im letzten Abschnitt dieses Kapitel wird der Inhalt und Aufbau der Arbeit vorgestellt. Hierbei werden die Handlungen der einzelnen Kapitel bündig zusammengefasst und ein Einblick der wichtigsten Fakten der Abschnitte gegeben.

1.1 Motivation und Relevanz

„Alt, brüchig, abgenutzt - Österreichs Asphaltstraßen kommen in die Jahre!“ Als Symbol des Wohlstandes und der Freiheit wurden sie zwischen den 60er bis in die 2000er Jahre, sprichwörtlich aus dem Boden gestampft. Der rasante Straßeninfrastrukturbau am Ende des letzten Jahrhunderts ist maßgebend für die volkwirtschaftliche Entwicklung unseres Landes verantwortlich. Ohne den Bau dieser Straßen würde es den Wohlstand und die Mobilität, welche oft als Selbstverständlichkeit angesehen wird, nicht geben. Lt. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Bmvit) [1] beträgt Österreichs Straßennetz 126.357 km (Stand 2021). Davon sind 2.257 km Autobahnen und Schnellstraßen. Diese Netzlänge macht Österreich pro m/EW, im Verhältnis zu anderen Ländern, zu einer der aufgeschlossensten Mitgliedstaaten der Europäischen Union. Pro Kopf beträgt die Straßenlänge 14 m/EW [1]. Nicht nur die Kleinstrukturiertheit und topographische Lage von Österreich, sondern auch Planungsfehler der Vergangenheit in der Flächenplanung, sind für die rekordträchtige Straßennetzlänge verantwortlich.

Die Kehrseite eines Straßennetzes ist jedoch der hohe Erhaltungsaufwand der Substanz. Österreichs Straßendurchschnittsalter steigt von Jahr zu Jahr an, da die budgetären Mittel für den Neubau bzw. die Erhaltung von Straßen auf einem konstant niedrigen Niveau in den letzten Jahren stagniert. Um der Überalterung bestehender Landes- und Gemeindesstraßen, aber auch Schnellstraßen bzw. Autobahnen entgegenzuwirken, muss neben der Erhöhung des Erhaltungsbudget auch ein effizienter Einsatz der Mittel erfolgen. In den kommenden zwanzig Jahren liegt der Schwerpunkt darin, die bestehende Infrastruktur zu sanieren und an die gewachsenen Anforderungen der modernen Zeit anzupassen. Je länger man zuwartet, desto teurer wird die Erhaltung und die Folgekosten eines nicht funktionstüchtigen Infrastrukturnetz. Überdies sind Versäumnisse der letzten Jahre ohnehin nur noch schwer aufzuholen.

Häufig ist die einfachste Lösung den gesamten Aufbau durch neue, dickere Schichten zu ersetzen. Jedoch ist der Nachhaltigkeitsgedanke in der heutigen Zeit ein immer wichtiger werdender Faktor in der Entscheidungsfindung. Diese Gegebenheiten fordern die Entwicklung von neuen baulichen Erhaltungsmaßnahmen bzw. die Optimierung von bewerten Verfahren. Eine zentrale Rolle werden dabei Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen, welche zu den bauliche Erhaltungsmaßnahme zählen, für die Sanierung/Erneuerung Österreichs Straßen in den nächsten Jahren spielen. Als Oberbauverstärkung wird die Erhöhung der Tragfähigkeit einer Straßenkonstruktion durch den Auftrag einer oder mehrerer ergänzenden Asphaltschichten oder das Erneuern von einzelnen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

bzw. des gesamten Oberbaus verstanden. Das Verfahren kann als Tiefeinbau, teilweiser Tiefeinbau oder Hocheinbau erfolgen. Der Hocheinbau, der durch seine rasche Bauzeit und seiner wirtschaftlichen Effizienz hervorsticht, ist Ausgangspunkt dieser Arbeit. Der entscheidende Unterschied zu anderen Methoden liegt darin, dass die Resttragfähigkeit für die Dimensionierung der erforderlichen Verstärkung berücksichtigt wird und somit die nötige Verstärkungsschichtdicke reduziert.

Die aktuell gültige Richtline RVS 03.08.64 [2] „Bautechnische Details – Oberbauverstärkung der Asphaltstraße“ entstammt aus dem Jahr 1992. Die Überarbeitung der Richtlinie und die Weiterentwicklung der Bemessungsverfahren ist daher notwendig. Aufbauend auf den Forschungstätigkeiten am Forschungsbereich Straßenwesen, auf Grundlage derer die RVS 03.08.64 umfassend überarbeitet und neu strukturiert wurde, ist diese Arbeit der Erweiterung des Anwendungsbereiches der Vergleichsmethode (s. Pkt. 4.1) gewidmet. Im Zuge der Neugestaltung des Vorentwurfs der RVS 03.08.64 [2] wurden für die Lastklassen LK0,05 bis LK10, in Abhängigkeit der Resttragfähigkeit des Bestandaufbaues, Ausgleichsdicken festgelegt. Die Ausgleichsschichtdicke ist jene Mehrdicke, welche angesichts einer verminderten Tragfähigkeit des vorgeschädigten Bestandsaufbaues berücksichtigt werden muss. Aufgrund der Bedeutsamkeit dieser baulichen Erhaltungsmethode, ist die öffentliche Hand daran interessiert, neben der Anwendbarkeit des Vergleichsverfahrens für niedrige Lastklassen, auch eine Applikation für die Lastklassen LK25 bis LK163 zu überprüfen. Dafür werden im Zuge dieser Arbeit Simulationsberechnungen durchgeführt, um die erforderlichen Ausgleichschichtdicken für Aufbauten der Lastklassen LK25 bis LK163 ermitteln zu können.

1.2 Forschungsmethodik und Forschungsfragen

In dieser Passage werden anfänglich die Forschungsmethoden erläutert und in weiterer Folge die zu untersuchenden Forschungsfrage beschrieben.

1.2.1 Forschungsmethode

Für die Durchführung der Simulationsberechnungen und der daraus resultierenden Beantwortung der Forschungsfragen musste zuerst eine facheinschlägige Recherche in der Literatur zu den nachfolgenden Themen durgeführt werden:

- Grundlagen der Oberbauverstärkungen: Hierbei werden zu Beginn die Grundlagen untersucht, um die wichtigsten allgemeinen Informationen für die Anwendung von Oberbauverstärkungen bei Asphaltstraßen zu kennen. Es werden die verschiedenen Varianten der Oberbauverstärkungen untersucht und miteinander verglichen.
- Tragfähigkeit von Asphaltstraßen: Der zweite Teil der Literaturrecherche beschäftigt sich mit der Tragfähigkeit des Straßenkörpers im Allgemeinen. Es werden tragfähigkeitsmindernde Einflüsse betrachtet, um ein Verständnis für die Einflussparameter der Dimensionierung von Oberbauverstärkungen zu erlangen. Des Weiteren wurde eine Vertiefung auf die Funktionsweise der unterschiedlichen Messmethoden für die Resttragfähigkeitsbestimmung einer Straßenkonstruktion gelegt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- RVS 03.08.64 (Entwurf): Im dritten Teil der Literaturrecherche werden die Methoden der neuen RVS 03.08.64 (Entwurf) für die Dimensionierung von Oberbauverstärkungen genauer begutachtet. Hier werden die Unterschiede der neuen Methoden untereinander sowie die Unterschiede zur RVS 03.08.64;1992 beleuchtet.
- Methoden der rechnerischen Dimensionierung: Im letzten Abschnitt der breitgefächerten Literaturrecherche werden die Methoden der Rechnerischen Dimensionierung genauer betrachtet. Dabei wird vor Allem auf die Einflussgrößen dieser Methode eingegangen.

Aufbauend auf dieser ausführlichen Literaturrecherche der zentralen Themengebiete, erfolgen die Simulationsberechnung für die Überprüfung der Erweiterbarkeit der RVS 03.08.64 auf die Lastklasse LK25 bis LK163. Hierbei werden unterschiedliche Oberbauvarianten des Bemessungskataloges, mit variierender Temperatureinwirkung und unterschiedlicher Resttragfähigkeit betrachtet.

Die angewandte Forschungsmethodik umfasst folgende Schritte:

- Ermittlung des Spannungszustands an der maßgebenden Stelle, abhängig von Resttragfähigkeit des Bestands sowie klimatischen Verhältnissen
- max. ertragbare Anzahl an Lastwechsel
- Überprüfung der Ausgleichschichtdicke
- Beantworten der Forschungsfrage
- Mögliche Ergänzung

1.2.2 Forschungsfrage

Für die Beantwortung der Forschungsfrage wird zuerst eine große Anzahl an Simulationsberechnungen zur Ermittlung der Spannungszustände der unterschiedlichen Oberbauvarianten, durchgeführt. Anschließend wird unter zu Hilfenahme der Methode der Rechnerischen Dimensionierung und der Berücksichtigung der Resttragfähigkeit der Bestandsasphaltsichten auf die Verstärkungsschichtdicke geschlossen. Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse werden am Abschluss dieser Arbeit die Forschungsfrage beantwortet und mögliche Anmerkungen bzw. Änderungen der neuen RVS 03.08.64 vorgeschlagen.

Forschungsfrage:

Ist einer Erweiterung des Anwendungsbereichs der RVS 03.08.64 (Entwurf) – Oberbauverstärkungen für Asphaltstraßen der Lastklassen LK25 bis LK163 möglich?

1.3 Aufbau der Arbeit

Um den Anwendungsbereich der RVS 03.08.64 – Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen auf Erweiterbarkeit zu prüfen, wird eine facheinschlägige Literaturrecherche durchführt. Das benötigte Methodenwissen und die wichtigsten Aspekte der Methode werden in den Kapiteln 2 bis 5 angeführt. Das zweite Kapitel stellt die Methode der Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen im Allgemeinen vor. Es werden die möglichen Ursachen für die Notwendigkeit einer

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Oberbauverstärkung beschrieben, sowie die unterschiedlichen Varianten der Ausführung einer Oberbauverstärkung erklärt.

Das dritte Kapitel ist dem Thema der Tragfähigkeit gewidmet. Oberbauverstärkungen werden eingesetzt, um die Tragfähigkeit einer Straßenkonstruktion zu erhöhen. Des Weiteren werden die Methoden für die Untergrundtragfähigkeitsmessung sowie die gängigen Tragfähigkeitsmessmethoden für Asphaltstraßen vorgestellt.

Im vierten Kapitel wird der neue Entwurf der RVS 03.08.64 Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen vorgestellt. Dabei werden alle neu strukturierten bzw. überabeiteten Methoden der Dimensionierung von Oberbauverstärkungsschichten beschrieben und erklärt.

Der erste Teil des fünften Kapitels befasst sich mit den Eingangsgrößen der Simulationsrechnungen des Hauptteils der Diplomarbeit. Es wird ausführlich auf die gewählte Belastung, die unterschiedlichen Oberbauschichtdicken, sowie auf die eingesetzten Materialeigenschaften eingegangen. Der zweite Teil dieses Kapitels setzt sich mit den Methoden der Rechnerischen Dimensionierung auseinander. Hier werden ausführlich die Rechenschritte gezeigt, um ausgehend von einem dreidimensionalen Spannungszustand, auf die maximal ertragbaren Lastwechsel der Straßenkonstruktion zu kommen (abhängig von der Resttragfähigkeit).

Im sechsten Kapitel befindet sich der Hauptteil dieser Diplomarbeit. Es wird mittels Simulationsberechnungen und unter zu Hilfenahme der Methoden der Rechnerischen Dimensionierung die Erweiterung des Anwendungsgebietes der RVS 03.08.64 auf die Lastklassen LK25 bis LK163 untersucht. Dabei werden alle Rechenschritte der durchgeführten Untersuchung anhand ausgewählter Beispiele verständlich gezeigt.

Im siebten und letzten Kapitel wird die Forschungsfrage beantwortet. Anschließend wird eine mögliche Ergänzung bzw. Empfehlung für die neue RVS 03.08.64 gegeben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

2 Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen

Das zweite Kapitel dieser Arbeit ist der Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen gewidmet. Zu Beginn wird auf den Unterschied zwischen betrieblicher bzw. baulicher Straßenerhaltung eingegangen. In weiterer Folge wird die bauliche Erhaltungsmethode Oberbauverstärkungen von Asphaltstraßen vorgestellt und die verschiedenen Ausführungsvarianten beschrieben.

2.1 Straßenerhaltung

Bauwerke, die durch eine Vielzahl von Einflussgrößen einer ständigen Beanspruchung ausgesetzt sind, verändern im Laufe der Zeit ihren Zustand. Das gleiche Phänomen tritt auch bei Asphaltstraßen im Laufe ihrer Liegezeit ein. Verkehrliche und klimatische Beanspruchungen sind hauptverantwortlich für den Tragfähigkeits- sowie den Gebrauchstauglichkeitsverlust einer Straßenbefestigung. Um der raschen Degeneration entgegenzuwirken bzw. die geplante Lebensdauer zu erreichen, ist es erforderlich die Straße einer periodischen Wartung und Erhaltung zu unterziehen. Unter dem Sammelbegriff der Straßenerhaltung werden alle Tätigkeiten verstanden, welche der Sanierung und Wartung des Straßenkörpers dienen. Neben der Bewahrung der Befahrbarkeit einer Straße, befassen sich die Maßnahmen der Straßenerhaltung auch mit der Sicherstellung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts. [3] Laut SCHMUCK [4] werden unter der Straßenerhaltung alle Maßnahmen verstanden, die der Substanzerhaltung, der Erhaltung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts (Gebrauchswertes) und ggf. auch der Verbesserung von Umweltbedingungen dienen. In Österreich gliedert sich die Straßenerhaltungsmaßnahmen in die zwei Teilbereiche, der betrieblichen Straßenerhaltung und der baulichen Straßenerhaltung. (Abbildung 1)

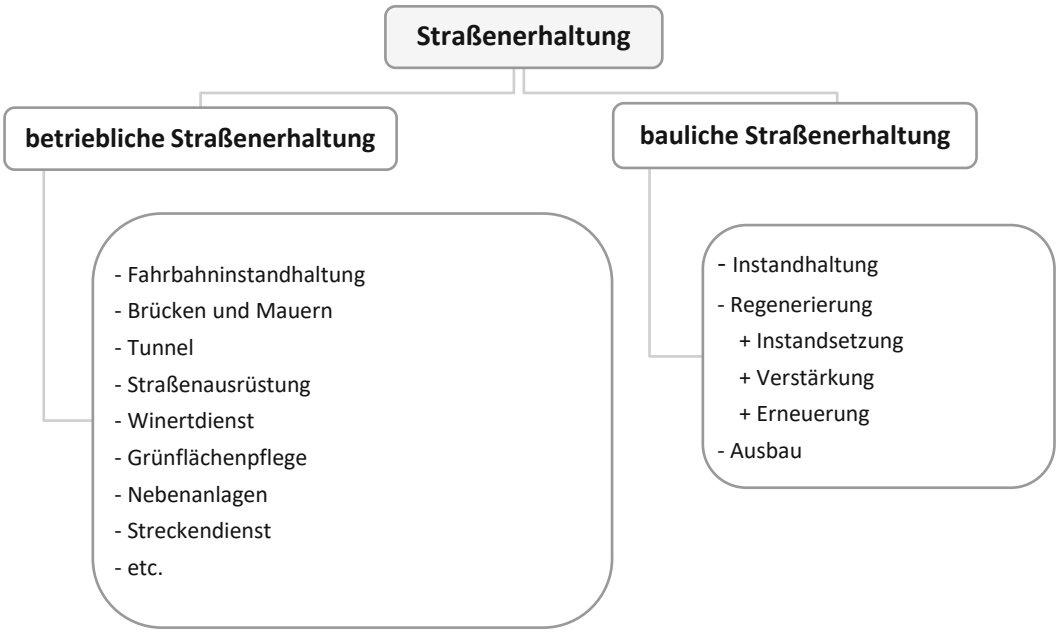


Abbildung 1: Straßenerhaltung [5]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.1.1 Betriebliche Straßenerhaltung

Wiederkehrende Kontrollen und Wartungstätigkeiten, welche keine baulichen Maßnahmen enthalten, werden als betriebliche Straßenerhaltungsmaßnahmen angesehen. Bauliche Maßnahmen sind nicht inbegriffen. In das Aufgabengebiet der betrieblichen Straßenerhaltung fallen die Pflegearbeiten von Fahrbahn, Brücken, Tunnel, Stützkonstruktionen, technische Funktionskontrolle der Verkehrs- und Leiteinrichtungen, Grünflächenpflege, Winterdienst, Hilfsdienst, etc... In Österreich werden diese Tätigkeiten von den zuständigen Straßen- oder Autobahnmeistereien durchgeführt. [6]

2.1.2 Bauliche Straßenerhaltung

Die bauliche Erhaltung einer Straßeninfrastruktur umfasst alle Maßnahmen, die für die Wartung und Pflege der Straßenbausubstanz notwendig sind. Dadurch kann die Verkehrssicherheit, der Fahrkomfort und die strukturelle Beschaffenheit einer Straße gewährleistet werden. Alle Maßnahmen erfolgen unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit. Desweitern steuert die bauliche Erhaltung die Planung, Ausführung bzw. die Abnahme von baulichen Tätigkeiten, die zur Erhöhung der der Substanzeigenschaften der Asphaltstraße vorgenommen werden.

Die baulichen Erhaltungsmaßnahmen werden in Instandhaltung-, Regenerierung- und Ausbaumaßnahmen eingeteilt. Eine genaue Strukturierung der einzelnen Bereiche ist nur begrenzt möglich, da die Definitionen der RVS 13.01.41 sehr allgemein beschrieben sind. [6]

- **Instandhaltung:** Lt. RVS 13.01.41 handelt es sich um periodische Baumaßnahmen kleineren Umfanges zur Erhaltung der Fahrbahnoberfläche wie z.B. Verfüllen von Schlaglöchern und Rissen, kleinflächige Oberflächenbehandlungen, örtliche Spurrinnenbeseitigungen oder Profilierungen. Diese Maßnahmen werden im Allgemeinen von der Straßen- oder Autobahnmeisterei so rasch wie möglich durchgeführt, um die Entstehung von Folgeschäden zu vermeiden. Dadurch können die Zeitintervalle der Instandsetzungsarbeiten im Allgemeinen verlängert werden. Zudem wirken sich kontinuierliche Instandhaltungsmaßnahmen positiv auf die Gesamtlebensdauer einer Straßenkonstruktion aus. Grundsätzlich sind Instandhaltungsarbeiten nicht im Vorhinein bautechnisch- bzw. kostenmäßig geplante Einzelbaumaßnahmen. [7]

- **Regenerierung:** Unter Regenerierung werden baulichen Maßnahmen verstanden welche zur Erhaltung der Fahrbahnoberfläche und/oder des Straßenaufbaues dienen. Die Instandsetzungsziele von Asphaltstraßen könne in folgende Bereiche eingeteilt werden:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- **Instandsetzung:** Lt. RVS 13.01.41 sind Instandsetzungsarbeiten bauliche Maßnahme größeren Umfangs zur Erhaltung und/oder Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit der Fahrbahnoberfläche und /oder des Oberbaus. Darunter versteht man großflächige Oberflächenmaßnahmen, Verstärkungen, Deckschichtsanierungen, Spurrinnenbeseitigungen etc. welche in der Regel eine Wirkungsdauer von mehreren Jahren besitzen. Sie werden im Unterschied zu Instandhaltungsmaßnahmen durch externe Firmen durchgeführt. Diese Tätigkeiten haben im Allgemein eine lange Vorlaufzeit für die Planung bzw. Ausschreibung und werden einzeln budgetiert. [7]

- **Verstärkung:** RVS 13.01.41 beschreibt Verstärkungsmaßnahmen als Instandsetzungsmaßnahme zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Straßenaufbaus. Diese kann sowohl durch Erhöhung der Schichtdicke (Hocheinbau) als auch durch Einbau qualitativ hochwertigerer Asphaltschichten erreicht werden. Die genaue Begriffsdefinition und die Ausführungsvarianten von Verstärkungsmaßnahmen können dem Kapitel 2.2.2 entnommen werden. [7]

- **Erneuerung:** Die Erneuerung wird lt. RVS 13.01.41 als Instandsetzungsmaßnahme zur Wiederherstellung des Straßenoberbaues definiert. Das Endprodukt kommt einer neu errichteten Oberbaukonstruktion (Generalerneuerung) gleich. [7]
  Es sind somit innerhalb der Bemessungszeit keine Instandsetzungsmaßnahmen angesichts struktureller Schäden erforderlich. Die Form der Erneuerung kann im Hoch-, teilweisen Tief- oder Tiefeinbau erfolgen, je nachdem wie viele Schichten abgetragen werden. Dabei ist ersichtlich, dass die Definitionsbezeichnung Verstärkung und Erneuerungen ineinander verfließen.
  Erneuerungen werden ebenso langfristig geplant und finanziell geprüft. Die Arbeiten werden von externen Firmen durchgeführt. Die Umsetzung von Erneuerungsmaßnahmen umfasst in der Regel, abhängig von Bauweise und Bauloslänge, eine Dauer von mehreren Tagen bzw. Wochen. [6]

♦ **Ausbau und Umbau:** Aus- und Umbauarbeiten sind bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und -verhältnisse. Konkret handelt es sich um Verbreiterungen von zu schmalen Straßen, Begradigungen von unübersichtlichen Stellen, Kreuzungsumbauten, Querneigungsanpassungen, etc. [7]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.2 Bauliche Erhaltungsmaßnahme - Oberbauverstärkung

Oberbauverstärkungen von Asphaltstraßen sind bauliche Erhaltungsmaßnahmen. Eine pauschale Zuordnung nach zuvor definierten Begriffen der baulichen Straßenerhaltung ist nicht möglich. Jedoch können die unterschiedlichen Ausführungsvarianten einer Oberbauverstärkung den Begriffen der RVS 13.01.41 zugeordnet werden.

Hauptanwendungszweck einer Oberbauverstärkung ist die Erhöhung der Tragfähigkeit von schadhaften Straßenkonstruktionen, aber auch zu schwach dimensionierter Konstruktion, bei denen die Tragfähigkeit nicht mehr den Anforderungen entspricht. Durch den Ersatz, einzelner oder mehreren Asphaltschichten wird der Straßenoberbau wieder in einen intakten, tragfähigen Zustand versetzt. Ziel jeder Oberbauverstärkungsmaßnahme ist die Verlängerung der strukturellen Lebensdauer der Straßenkonstruktion. Eine zusätzliche positive Begleiterscheinung, neben der Erhöhung der Tragfähigkeit, ist die verbesserte Oberflächenbeschaffenheit in Hinblick auf Ebenheit oder Griffigkeit. Abhängig von der Ausführungsvariante spricht man von Verstärkungsmaßnahmen oder von Erneuerungsmaßnahmen. Die Oberbauverstärkungen können im Hocheinbau, teilweisen Tiefeinbau, sowie im Tiefeinbau erfolgen. (s. Pkt. 2.2.2) [6]

Die Notwendigkeit der Oberbauverstärkung für eine Asphaltstraße ist ein komplexes Zusammenspiel diverser Faktoren. Hauptausschlaggebend ist häufig eine zu schwache Dimensionierung bzw. eine Überbelastung der Straßenkonstruktion durch die zukünftige Verkehrsbelastung. Dadurch kann es zur Bildung von Unebenheiten (Spurrinnen, Setzungen) und Rissen (Einzelrisse, Netzrisse) in der bituminösen Schicht kommen. Durch diverse klimatische Einwirkungen, hohen Temperaturen oder eindringendes Oberflächenwasser kommt es zu einer Beschleunigung der tragfähigkeitsmindernden Umstände. Die bituminösen Tragschichten können die Verkehrsbelastungen nicht mehr schadlos in den Untergrund ableiten. Damit weitere strukturell Schäden verhindert werden, sind aufwendige bzw. kostenintensive Instandsetzungsarbeiten in kurzen periodischen Zeitabständen notwendig. Zu langes Hinauszögern von Sanierungsmaßnahmen führt zu einem stetigen Abfall der Resttragfähigkeit der bestehenden Bestandsasphaltschichten, wodurch eine dickere Verstärkungsschicht bei der Instandsetzung notwendig wird. Ab einem Abfall der Resttragfähigkeit unter 50 Prozent der Ausgangstragfähigkeit ist eine komplette Erneuerung der Konstruktion die technische beste Sanierungsmethode. Natürlich ist eine komplette Erneuerung mit höheren finanziellen Kosten verbunden als eine zum richtigen Zeitpunkt ausgeführte Oberbauverstärkung. [6]

Ursachen die eine Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen begünstigen sind:

- Überlastung der Straßenkonstruktion, infolge höheren Verkehrsaufkommens,
- Fehler bei der Dimensionierung, wie
    - Unterbewertung der Verkehrsbelastung,
    - Falsche Beurteilung der Einflussgrößen: Klima, hydrologische Verhältnisse, Benutzungsdauer, etc., oder
    - Überbewertung des Tragfähigkeitsverhalten des Untergrunds;

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Einsatz von ungeeigneten Materialien,
- Mangelhafte Bauausführung, oder
- Versäumnisse in der betrieblichen Straßenerhaltung.

2.2.1 Richtlinien zur Dimensionierung von Oberbauverstärkungen

In Österreich stellt die RVS (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen) den Stand der Technik dar. Die Verwendung der RVS garantiert einen entsprechenden Qualitätsstandart bei Planung, Bau und Betrieb von Straßeninfrastruktur. Die Nutzer der österreichischen Straßeninfrastruktur finden somit ein einheitliches Sicherheits- und Qualitätsniveau auf den Straßen vor. In mehr als 300 RVS werden die entsprechenden Richtlinien und Vorschriften geregelt, welche auf ehrenamtlicher Basis in Arbeitsausschüssen von Planern, Vertretern der Bauwirtschaft, Wissenschaftler und Infrastrukturbetreibern erstellt werden. Die Bemessung von Oberbauverstärkungen von Asphaltstraßen im Hoch- bzw. teilweisen Tiefeinbau ist in der Richtlinie RVS 03.08.64 geregelt. Die Methode des Tiefeinbaus entspricht einem Neubau, weshalb für die Dimensionierung die RVS 03.08.63 zuständig ist.

2.2.2 Varianten der Oberbauverstärkung

In der nachstehenden Grafik (Abbildung 2) sind die unterschiedlichen Varianten der Oberbauverstärkung ersichtlich, welche anschließend in den Unterpunkten beschrieben werden.

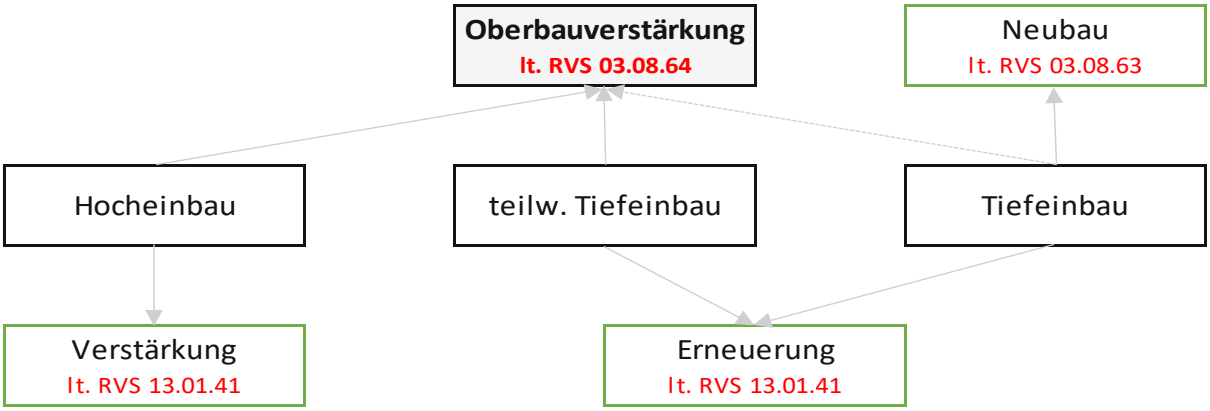


Abbildung 2: Varianten der Oberbauverstärkung [6]

Hocheinbau

Der Hocheinbau (siehe Abbildung 3) stellt die kostengünstigste Variante der Oberbauverstärkungsmaßnahmen für Asphaltstraßen dar. Die bestehende Straßenbefestigung wird durch eine oder mehrere Verstärkungsschichten ergänzt. Lediglich die Deckschicht der Straßenkonstruktion wird abgefräst. Der größte wirtschaftliche Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Resttragfähigkeit der bestehenden Oberbauschichten in die Dimensionierung der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Verstärkungsschicht miteingerechnet werden kann. Dies führt dazu, dass die Einbaudicke der Verstärkungsschicht geringer ausfallen, kann als die Schichtdicke bei einer Erneuerung. Desweitern führt die kürzere Bauzeit, verglichen mit anderen Oberbauverstärkungsvarianten nur zu minimalen Verkehrsbeeinträchtigungen. [8]

Wesentliche Einschränkungen der Anwendbarkeit dieser Instandsetzungsmaßnahme stellen höhenmäßige Zwangspunkte oder begrenzte Belastbarkeiten von Brückentragwerken dar. [9]

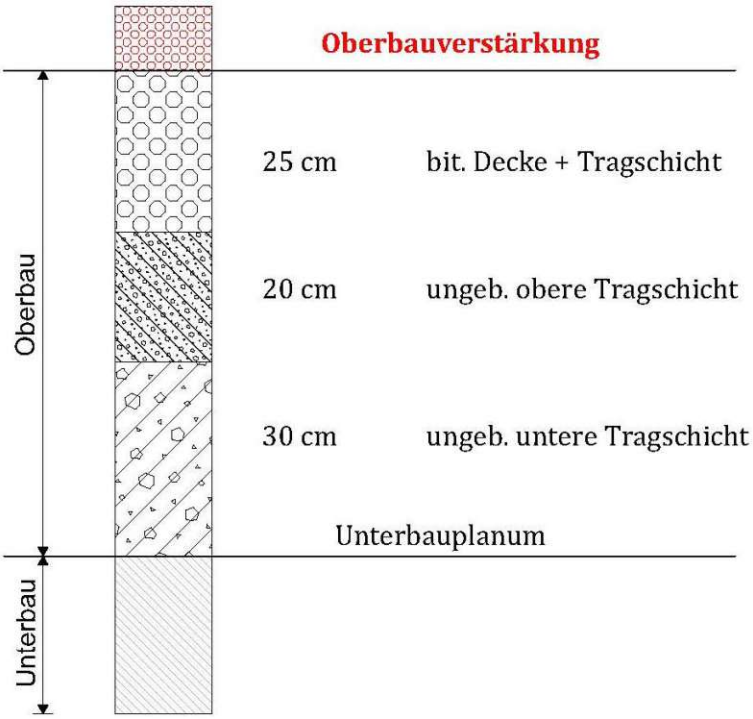


Abbildung 3: Hocheinbau (Prinzipskizze)

Teilweiser Tiefeinbau

Verformungsgefährdete bzw. stark brüchige Asphaltschichten werden beim teilweisen Tiefeinbau (siehe Abbildung 4) durch neue Schichten ersetzt, welche die zukünftigen Anforderungen entsprechen. Durchaus kann es auch erforderlich sein, die oberste ungebundene Tragschicht zu erneuern. Im Vergleich zum Tiefeinbau wird nicht der gesamte Oberbau entfernt, sondern nur einzelne Schichten. Sowohl in ökologischer-, als auch wirtschaftlicher Sicht ist es oft sinnvoll, wiederaufbereitete Baustoffe der ursprünglichen Oberbaubefestigung zu verwenden. Es besteht auch die Möglichkeit die oberste ungebundene Tragschicht „in place“ mittels Zementstabilisierung für die zukünftigen erforderlichen Anforderungen zu verbessern. [6]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

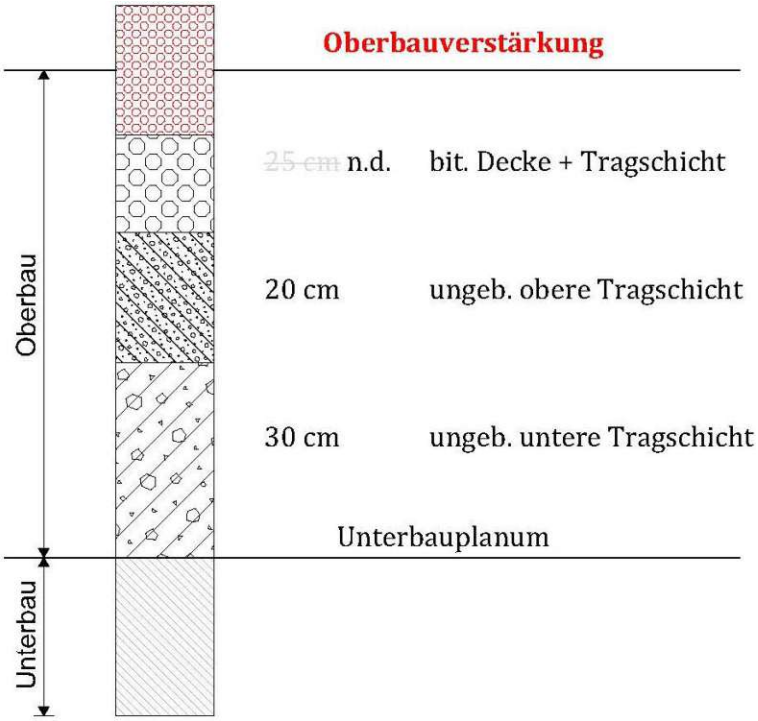


Abbildung 4: teilweiser Tiefeinbau (Prinzipskizze)

Tiefeinbau (Neubau)

Der Tiefeinbau (siehe Abbildung 5) stellt die umfangreichste Oberflächenverstärkungsmaßnahme dar. Der gesamte vorhandene Oberbau wird entfernt und durch einen neu dimensionierten Oberbau ersetzt. Bevor mit dem Neubau der unterschiedlichen Schichten des Oberbaus begonnen wird, muss das Unterbauplanum auf Tragfähigkeit sowie auf Lagemäßigkeit überprüft werden. Gegebenenfalls sind entsprechende Maßnahmen durchzuführen. Bemessungstechnisch wird der Tiefeinbau wie ein Neubau betrachtet und erfolgt nach den Bemessungsregeln der RVS 03.08.63. Wie auch beim teilweisen Tiefeinbau können alte Schichten, durch eine „in place“ Behandlungen oder durch Recycling beim Tiefeinbau wiederverwendet werden. [6]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

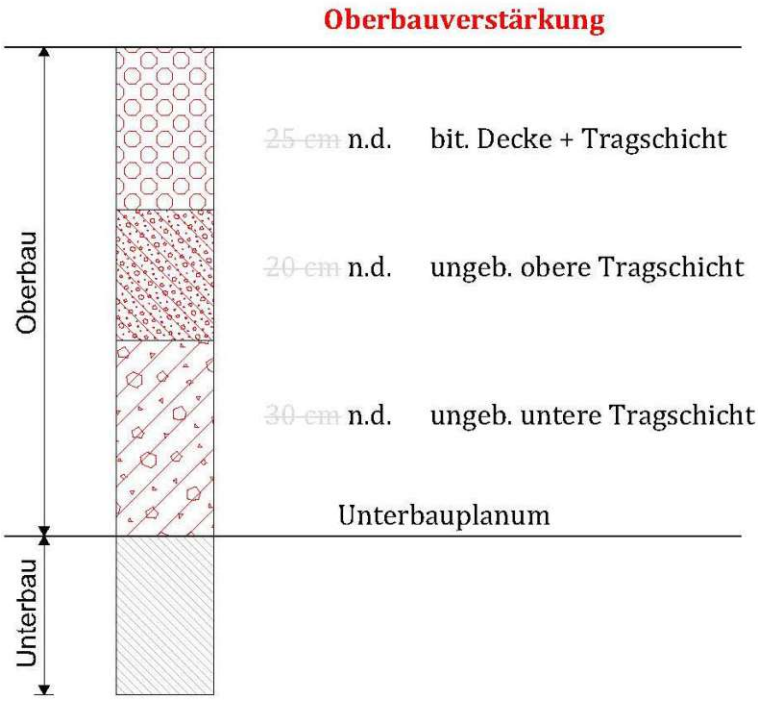


Abbildung 5: Tiefeinbau (Prinzipsskizze)

Die Durchführung der Oberbauverstärkung als Tiefeinbau bzw. teilweisen Tiefeinbau kommt vorrangig Einsatz, wenn [6]

- die Oberbaumaterialien nicht mehr den Anforderungen entsprechen (z.B. nicht frostsicher sind),
- stark verformungsanfällige Schichten zu entfernen sind,
- höhenmäßige Zwangspunkte keine Erhöhung der Nivellette zulassen (z.B. Orts-durchfahrt, Überführungsbauwerke),
- ein Durchschlagen von vorhanden Schäden zu erwarten ist,
- die Belastbarkeit von Brückentragwerken oder Rohrleitungen eigeschränkt ist, oder
- nur ein Fahrstreifen verstärkt werden soll.

2.2.3 Praxis

Schlussendlich ist die Wahl der Verstärkungsmethode nicht nur von der Qualität der vorhandenen Oberbaukonstruktionsschichten abhängig. Äußere Gegebenheiten, wirtschaftliche Überlegungen, ökologische Faktoren spielen oft eine genauso wichtige Rolle im Entscheidungsprozess. Häufig kommt eine Kombination der unterschiedlichen Verfahren zum Einsatz. Der vorhandene Befestigungszustand wird mit Hilfe von Deflektionsmessungen sowie der visuellen Beurteilungen in homogenen Abschnitt mit gleichem Schädigungsgrad unterteilt. Stark zerstörte Abschnitte werden dabei vollständig erneuert, weniger defekte Stellen hingegen nur mit einer Verstärkungsschicht überbaut. Die Bemessung erfolgt in jeder Zone getrennt. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Straßenabschnitte aus arbeitstechnischer Sichtweise weder zu kurz bzw. aus wirtschaftlicher Sichtweise nicht zu lang gewählt werden. [6]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3 Tragfähigkeit von Asphaltstraßen

In diesem Kapitel wird auf die Tragfähigkeit von Asphaltstraßen eingegangen. Sie stellt die wesentliche Entscheidungsgrundlage für die Durchführung einer Oberbauverstärkungsmaßnahme dar. Neben der Begriffsdefinition der Tragfähigkeit werden in weiterer Folge Faktoren angeführt, die die Tragfähigkeit einer Straßenkonstruktion beeinflussen. Anschließend wird noch die Tragfähigkeitsmessung des Untergrundes sowie von Asphaltstraßen beschrieben.

3.1 Begriffsdefinition Tragfähigkeit

Wie allgemein im Bauwesen bekannt wird unter dem Begriff der Tragfähigkeit ein Grenzzustand verstanden. Es ist sicherzustellen, dass die von den Einwirkungen verursachten Beanspruchungen innerhalb eines Bauteils, kleiner oder gleich dem Widerstand des Straßenaufbaus sind. Die Tragfähigkeit einer Straßenbefestigung beschreibt ihre Eigenschaft, die auf sie wirkende Belastung aufnehmen, über ihre Schichten verteilen und in den Untergrund schadlos ableiten zu können. [10] Genauso häufig findet man in diversen Literaturquellen die Definition von Knauff M. [11]: „Die Tragfähigkeit einer Asphaltbefestigung ist der mechanische Widerstand gegen eine kurzzeitige vertikale Verformung der Oberfläche“. Die vertikale Verformung ermöglicht, einen Rückschluss auf den Beanspruchungszustand in der Straßenkonstruktion zu ziehen, welcher Ausgangspunkt für die Substanzbewertung ist. [12]

3.2 Tragfähigkeitsbeeinflussende Faktoren

Die Tragfähigkeit von Straßenbefestigung ist von einer vielzahlt von unterschiedlichen Einflussfaktoren abhängig. Die Grundvoraussetzung für einen tragfähigen Straßenaufbau ist ein gut tragfähiger Untergrund bzw. Unterbau. Jede Schicht des Aufbaus erfüllt neben dem individuellen, konstruktiven Zweck, auch eine lastabtragende Wirkung. Kommt es in der Lastabtragung bzw. in der Lastverteilung der unterschiedlichen Schichten zu einer Störung, so führen diverse Tragfähigkeitsbeeinflussende Faktoren zu einer strukturellen Schädigung des Aufbaus. Diese Mängel führen nicht nur zu einer Abnahme der Lebensdauer einer Straßenkonstruktion, sondern stellen auch erhebliche Sicherheitsrisiken für Kfz-Lenker dar. [8]

Die Einflussfaktoren auf die Tragfähigkeit werden strukturell in zwei Hauptgruppen unterteilt. Man spricht von inneren und äußeren Einwirkungen, welche individuell, aber vor allem im Kollektiv, eine schadhafte Einwirkung auf die Konstruktion ausüben. [10]

In der nachstehenden Abbildung 6 werden die Einflussgrößen, die in ihrer Gesamtheit grundlegenden Einfluss auf die Tragfähigkeitsmessergebnisse von Straßenkonstruktion haben, strukturiert aufgelistet.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

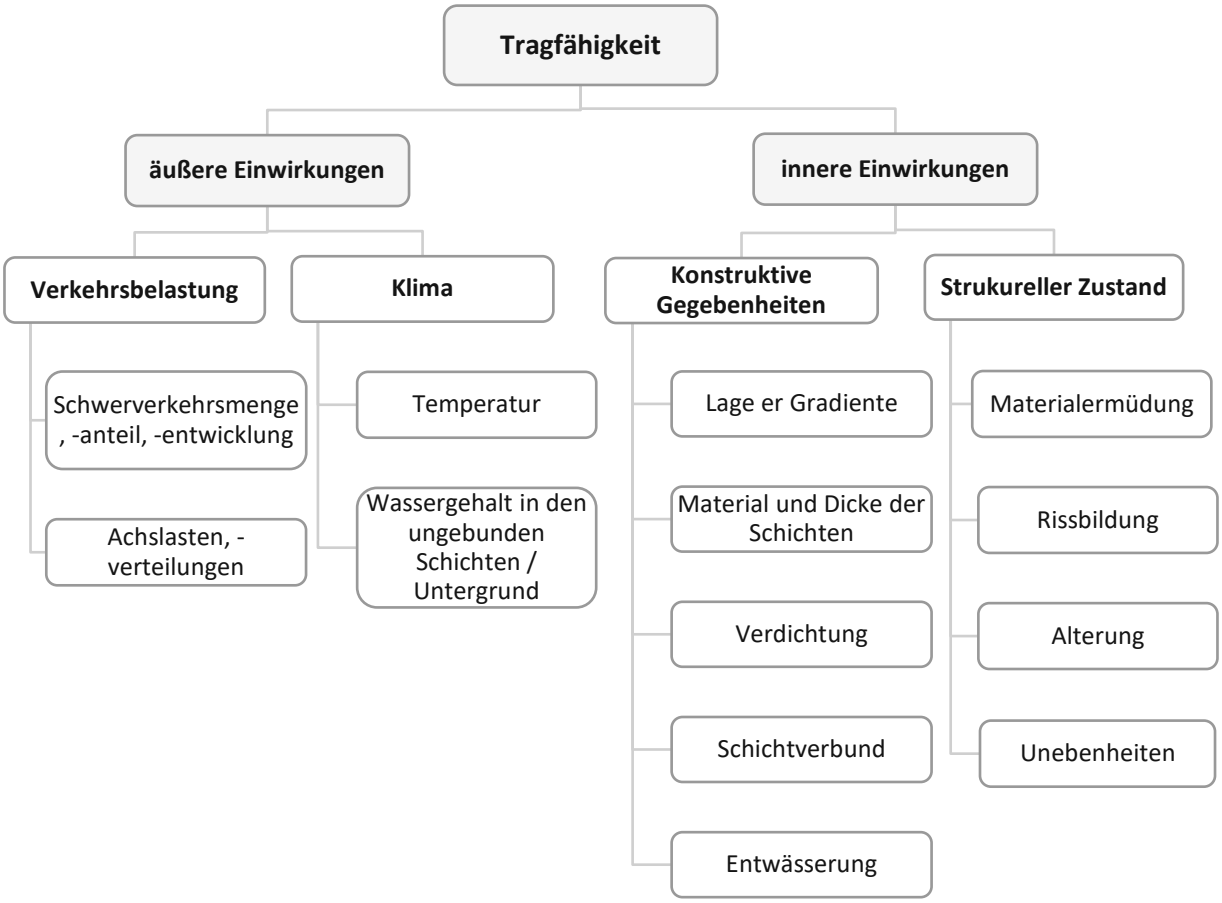


Abbildung 6: Einflüsse auf die Tragfähigkeit einer Straßenbefestigung [12]

3.2.1 Äußere Einwirkungen

3.2.1.1 Verkehrsbelastung und Klima

Die maßgebenden tragfähigkeitsmindernden äußeren Faktoren bilden die Beanspruchung aus Verkehr und Temperatur, welche in Korrelation zueinanderstehen. Der relevante Teil der Verkehrsbelastung ist hierbei der Schwerverkehr. Zu den langfristig auf einem Straßenkörper einwirkenden Faktoren zählen, die Anzahl an Schwerverkehrsfahrzeugen, deren Frequenz sowie Entwicklung und die Achslastverteilung. Hingegen sind für die kurzzeitige Reaktion eines Straßenkörpers die Größe der Achslast, die Belastungsgeschwindigkeit bzw. -dauer sowie die Lastfläche ausschlaggebend. Die Beanspruchung durch Temperaturänderung bestimmt in Kombination mit der Verkehrsbelastungsfrequenz das Steifigkeits-, Trag- sowie Verformungsverhalten von Asphaltschicht mit. Hohe Oberflächentemperaturen und langsame statische Belastungen führen zu geringen Elastizitätsmodule. [8]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Wassergehalt in den ungebunden Tragschichten/Untergrund

Die jahreszeitlichen Tragfähigkeitsschwankungen der ungebundenen Tragschichten sowie des Untergrunds werden durch die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen während der Jahresperioden ausgelöst. Sie hängen von der Bodenart und den veränderlichen hydrologischen Verhältnisse ab. Der Elastizitätsmodul des Untergrunds kann sich in einer großen Spannweite bewegen. Wie aus der Abbildung 7 ersichtlich, weist der noch gefrorene Boden im Winter die höchste Tragfähigkeit auf, während in der Frühjahrstauperiode die kleinste Tragfähigkeit zu erwarten ist. [8]

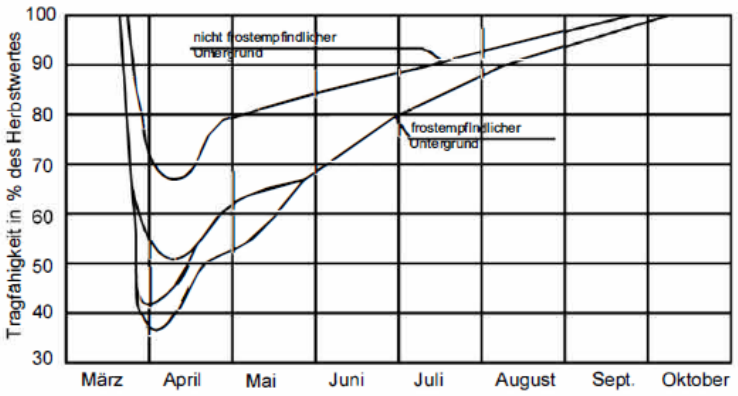


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Änderung der Tragfähigkeit einer Straße mit der Jahreszeit in Abhängigkeit von der Untergrundtragfähigkeit [13]

3.2.2 Innere Einwirkungen

3.2.2.1 Konstruktive Gegebenheiten

Materialeigenschaft und Schichtdicken

Eine Straßenkonstruktion wird in ihrem Tragverhalten entscheidend von der Wahl des Schichtaufbaus, den Schichtdicken und den verwendeten Baustoffeigenschaften beeinflusst. Die Eigenschaft des Materials und die Schichtdicke beeinflussen die Spannungsverteilung in der Konstruktion. Desto dicker und steifer eine Schicht ist, umso besser verteilen sich die Spannungen darin. Jedoch steigt die aufzunehmende Belastung in der Schicht und es kommt zu einer Entlastung der darunterliegenden Schicht. Im Umkehrschluss bedeutet dies, je dünner und weniger steif Schichten sind, umso geringer wird deren Belastung, wodurch die darunter liegenden Schichten eine höhere Beanspruchung erfahren. Die Steifigkeiten der Schichten können durch die Korngrößenverteilung, Gesteinsart, Verdichtung, Mischgutzusammensetzung, etc. an die erforderlichen Anforderungen angepasst werden. [14]

Schichtverbund

Maßgebenden Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Tragwirkung einer Asphaltstraße hat der Verbund zwischen den einzelnen Asphaltschichten. Eine mangelnde Verbundwirkung erzeugt infolge von fehlender Schubkraftübertragung, größere Biegezugspannungen an den Schichtgrenzen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Jendia S. [10] stellte anhand eines Versuchs diese Auswirkung des Schichtverbunds anschaulich dar. Verglichen wurde ein einteiliger Balken und ein dreiteiliger Balken, welcher keine Verbundwirkung zwischen den Balkenteilen aufwies. Unter gleicher Belastung erfuhr der dreiteilige Balken die 9-fache Durchbiegung und die 3-fache Biegezugspannung an der Unterseite. Dies hat zur Folge, dass der Krümmungsradius der Biegeline bei fehlendem Schichtverbund, kleiner als bei einer Straßenbefestigung mit Schichtverbund ist. Diese Erkenntnis ist für die Beurteilung von Einsenkungsmessung bei Tragfähigkeitsbestimmung von Wichtigkeit. [8]

3.2.2.2 Struktureller Zustand

Häufig sind strukturelle Schäden der Ausgangspunkt für die Durchführung einer Deflektionsmessung zur Bestimmung der reduzierten Tragfähigkeit und der Beurteilung der Lebensdauer einer Asphaltstraße. Das Tragverhalten wird maßgebend vom strukturellen Zustand einer Straßenkonstruktion beeinflusst. Neben den optischen Schäden der Asphaltoberfläche (z.B. Risse, Unebenheiten) spielen auch nicht sichtbare Mängel (z.B. fehlender bzw. gelöster Schichtverbund) eine Rolle.

Rissbildung

Einzelne konzentrierte oder netzartig verbundene, fein bis auseinanderklaffende Bruchstellen der bituminös gebundenen Schicht werden als Risse bezeichnet. Die Entstehung von Rissen ist unterschiedlich und oft schwer voneinander zu unterscheiden. Die durch elastische und plastische Verformungen entstehenden Beanspruchungsspitzen an der Unterkante der ermüdenden Asphaltkonstruktion können aufgrund vorhandener Risse nicht mehr aufgenommen werden. Das Überschreiten der Zugfestigkeit des Materials führt zu einem Dominoeffekt der Rissentstehung. Infolge der Spannungskonzentrationen entstehen unter Beanspruchung neue Risse bzw. werden bestehende Rissbilder vergrößert. [12]

Krause G. [15] unterteile die Risse von Asphaltkonstruktion anhand der Ursache in Kategorien. Risse welche auf Tragfähigkeitsmängel zurückzuführen sind, thermisch bzw. alterungs-bedingte Rissentstehung und sonstige Risse. (s. Abbildung 8)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

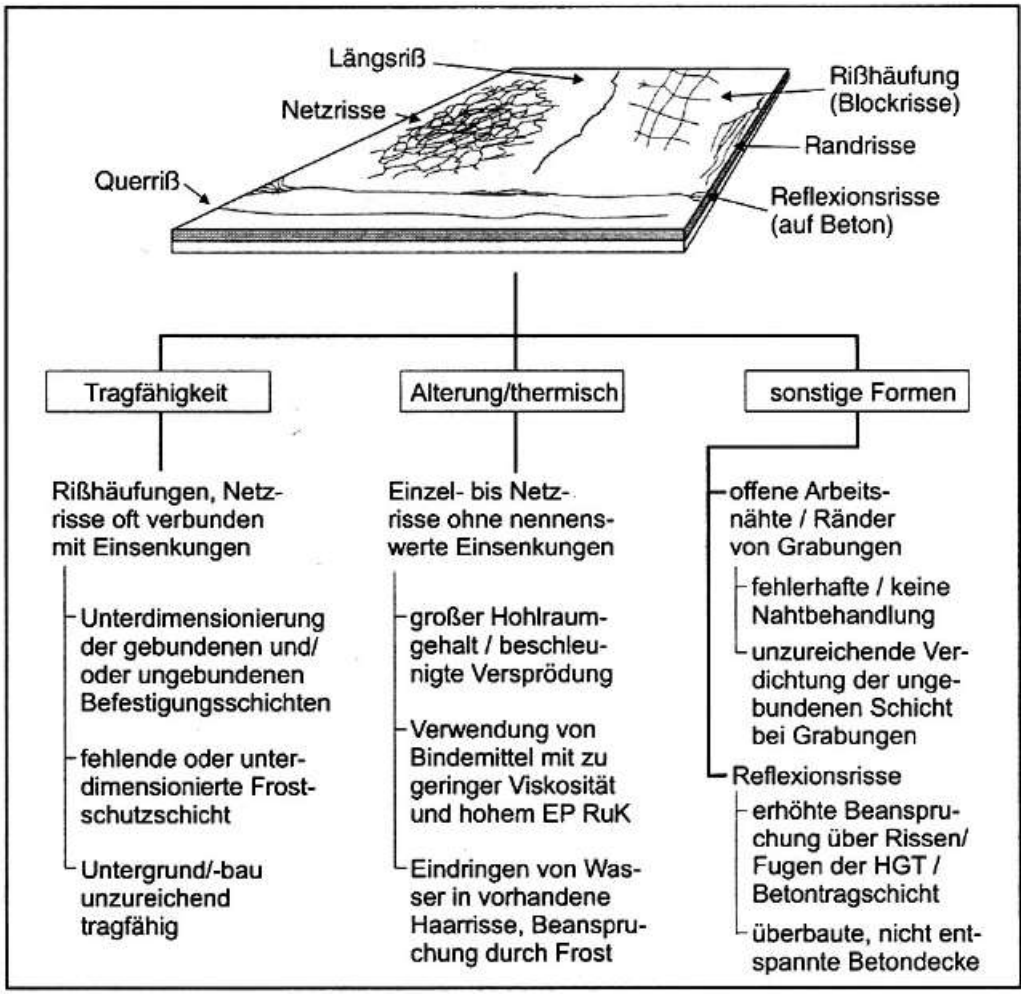


Abbildung 8: Ursachen der Rissbildung von Asphaltstraßen [15]

Unebenheiten

In der Fahrbahnoberfläche auftretende Unebenheiten können nach ihrer Gestalt in Längs- und Querunebenheiten unterteilt werden. Die plastischen Verformungen der einzelnen Schichten in Längsrichtung entstammen größtenteils den ungebundenen Schichten. (s. Abbildung 9) Häufig ist eine zu schwache Dimensionierung des Oberbaus verantwortlich. Dabei übersteigen die Belastungen den Verformungswiderstand der ungebundenen Schichten oder des Untergrundes, wodurch Verformungen auftreten. Weitere Ursache kann die Inhomogenität der Materialien sein, aber auch Fehler in der Bauausführung. [12]

Unebenheiten in der Querrichtung (s. Abbildung 10) resultieren oft aus dem Verbrauch einer formbewahrenden Substanz. Es kommt zu keiner vollständigen Rückbildung einer durch eine Verkehrsbelastung verursachten Verformung. Die Spurinnenbildung entstehen durch Fließvorgänge in der Asphaltdeck- und Binderschicht. Lang andauernd Wärmeperioden, mit intensiver Sonneneinstrahlung und geringer nächtlicher Abkühlung, bei hoher Beanspruchung, begünstigen die Fließvorgänge im Asphalt. Tagschichten ohne Bindemittel sowie Untergrund und Unterbau tragen nur geringfügig zu Bildung von Querspurrinnen bei. [16]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

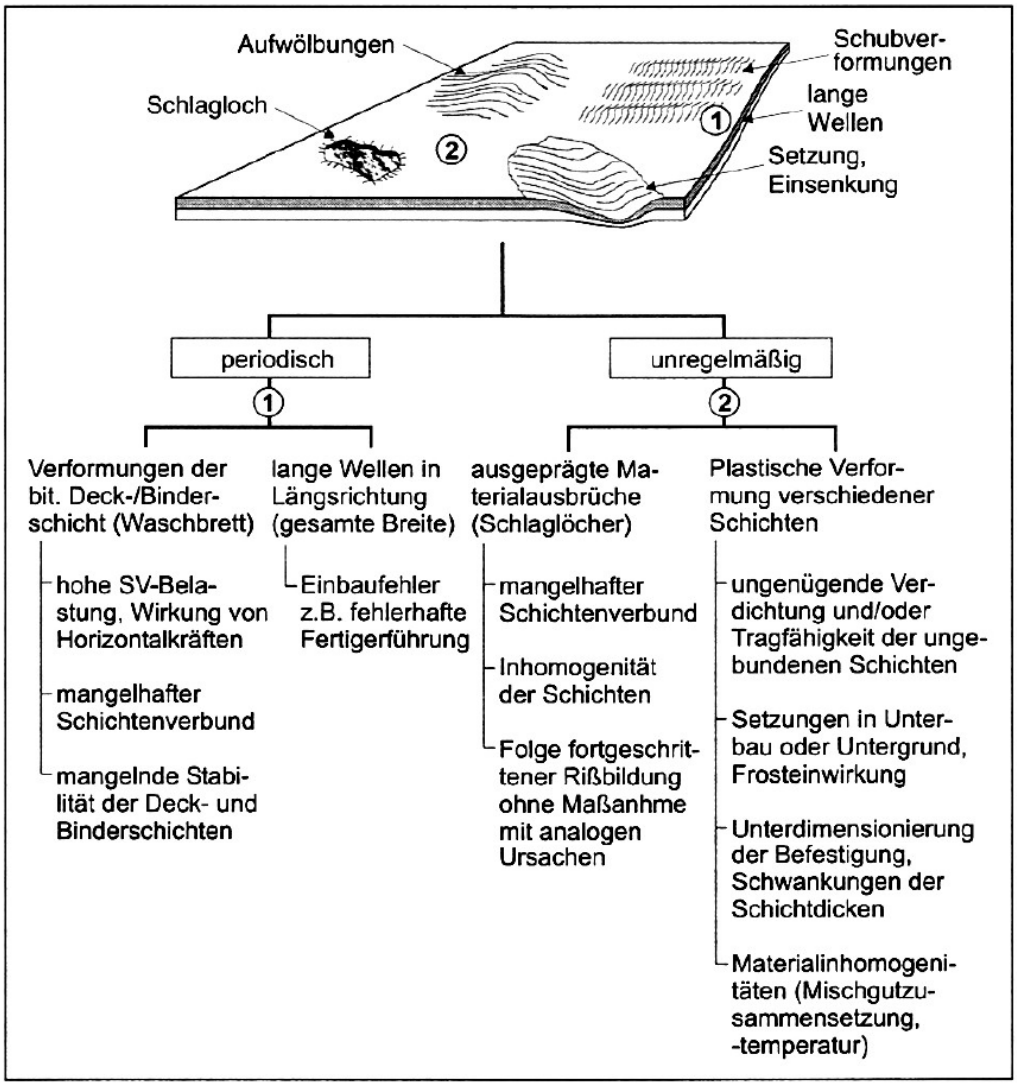


Abbildung 9: Entstehung von Unebenheit in Längsrichtung [15]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

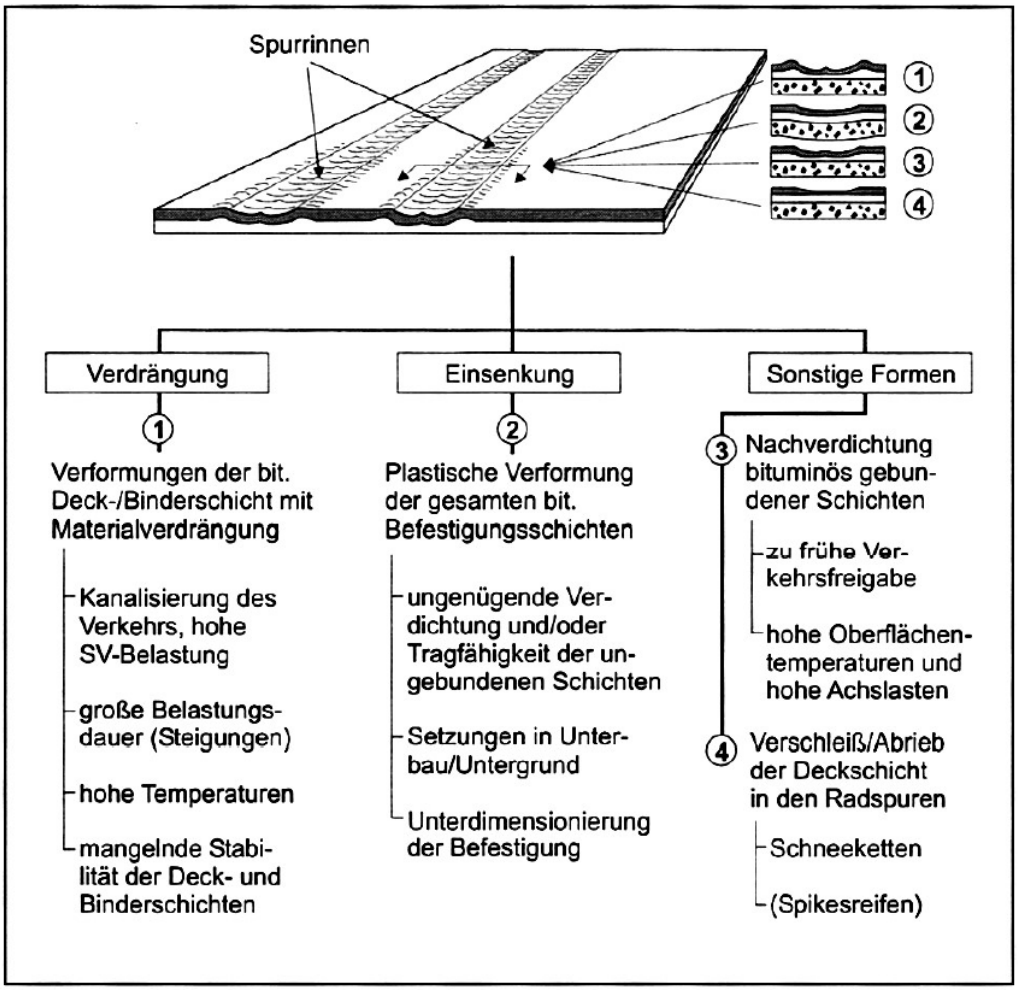


Abbildung 10: Entstehung von Unebenheiten in Querrichtung [15]

3.3 Untergrundtragfähigkeit

Eine wichtige Kenngröße für die Bemessung des Straßenoberbaus sowie auch für Oberbauverstärkungsmaßnahmen stellt die Untergrundtragfähigkeit dar. Sie wird elementar durch stark saisonal schwankende hydrologische Bedingungen beeinflusst. Die Tragfähigkeit des Untergrundes nimmt direkten Einfluss auf die benötigten Schichtdicken der Oberbaukonstruktion. Mangelnde Untergrundtragfähigkeit kann jedoch auch durch die Wahl von dickeren Oberbauschichten nicht ausgeglichen werden. Auch für die Ermittlung der Verstärkungsschichtdicke einer Oberbaukonstruktion besteht eine Korrelation mit der Untergrundtragfähigkeit durch die Bestimmung der Resttragfähigkeit des Bestandsasphalt.

Ausgedrückt wird die Tragfähigkeit des Untergrundes bzw. des Unterbaus über einen Verformungsmodul. Abhängig von der Versuchsdurchführung wird zwischen dem statischen Verformungsmodul E_V und den dynamischen Verformungsmodul $E_{dyn,UG}$ des Untergrundes unterschieden. [6]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.3.1 Statischer Verformungsmodul E_V

Der statische Verformungsmodul E_V wird anhand des in der ÖNORM B 4417:2018 geregelten statischen Lastplattenversuch bestimmt. Hierbei wird auf den Untergrund eine kreisförmige Platte (Durchmesser 30cm) kraftschlüssig aufgelegt. Die Messbrücke wird aufgestellt und der Druckstempel zwischen Lastplatte und Gegengewicht eingerichtet. Mittels hydraulischer Pumpe wird die Lastplatte belastet, entlastet und abermals belastet (Schleife). Die Plattenverschiebung wird durch Messuhren, welche sich auf einer Messbrücke befinden registriert. Sobald die Verformungsgeschwindigkeit einen Grenzwert unterschreitet, wird die nächste Laststufe aufgebracht. Die Versuchsauswertung liefert den statischen Verformungsmodul der Erstbelastung bzw. für die Wiederbelastung, welche sich aus den Sekanten definierter Laststufen des Druck-Setzungs-Diagramms ergeben. [17]

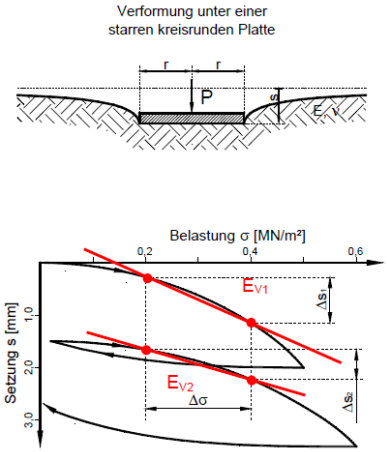


Abbildung 11: Druck-Setzungs-Diagramm [17]

3.3.2 Dynamischer Verformungsmodul $E_{dyn,UG}$

Der Bestimmung des dynamischen Verformungsmodul $E_{dyn,UG}$ des Untergrundes ist in der österreichischen Vorschrift für Straßenbau RVS 08.03.04:2008 geregelt. Neben der Bewertung der Tragfähigkeit eignet sich der dynamische Verformungsmodul auch zur Verdichtungskontrolle. Der Versuch wird mit dem leichten Fallgewichtsgerät durchgeführt. Eine kreisförmigen Stahlplatte (Ø 30cm) mit einer Zentrierkugel wird auf den Untergrund aufgelegt. Auf diese Zentrierkugel wird eine Führungsstange mit dem Fallgewicht (10 kg) positioniert. Das Fallgewicht wird bei der Versuchsdurchführung ausgeklinkt. Geführt durch die Stange fällt es auf ein Feder-Dämpfer-Element und übt somit einen definierten Stoß auf die Stahlplatte aus. Ein Beschleunigungssensor auf der Platte misst die Beschleunigung. Das Signal wird durch ein angeschlossenes elektrisches Messgerät zu einem Messwert, dem dynamischen Verformungsmodul $E_{dyn,UG}$ verarbeitet. [17]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

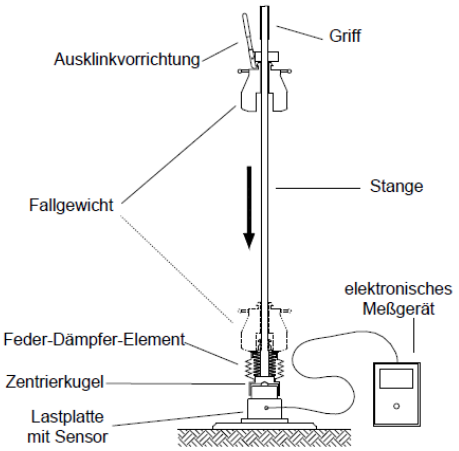


Abbildung 12: Komponenten des leichten Fallgewichtsgerät [17]

3.4 Tragfähigkeitsbeurteilung von Asphaltstraßen

Die Tragfähigkeit einer Straßenbefestigung ist im Rahmen der Erhaltungsmaßnahmen von Straßen eine maßgebende Beurteilungsgröße und wird anhand der Reaktion der Straßenbefestigung auf eine aufgebrachte Kraft ermittelt. Neben den direkten Messmethoden kann die Tragfähigkeit auch mittels indirekter Beurteilung abgeschätzt werden. Ziel der Tragfähigkeitsbeurteilung ist die Bestimmung, ob die geprüfte Straßenkonstruktion den zu erwartenden Verkehrsbelastungen entspricht. Infolge der gewonnenen Daten kann die Restlebensdauer der Straße abgeschätzt werden. Entspricht sie nicht der vorgesehenen Gebrauchsdauer, so können Oberbauverstärkungen Abhilfe schaffen, um die vorgesehene Nutzung sicherzustellen. [8]

3.4.1 Statische Deflektionsmessung

Unter der statischen Deflektion wird die vertikale Verschiebung eines Punktes der Straßenoberfläche verstanden, welche sich bei einer langsamen, quasi-statischen Überrollung durch eine festgelegte Radlast ergibt. Üblicherweise wird bei allen Messverfahren als Belastung ein Zwillingsreifen eines Lastwagens verwendet. Dabei setzt sich die totale Deflektion aus elastischen und plastischen Verformungsanteilen zusammen. Abhängig vom Messverfahren wird die gesamte Verschiebung oder nur der elastische Beitrag der totalen Deflektion gemessen. Zusätzlich zur vertikalen Verschiebung wird auch der Krümmungsradius der Einsenkungsmulde erfasst. Die Messung der statischen Deflektion wird weitgehend mit dem Benkelmanbalken ermittelt. Weitere Verfahren sind die optische Deflektionsmessung bzw. der Deflektograph. [6]

3.4.1.1 Benkelmanbalken

Geschuldet der einfachen Bedienung stellte der Benkelmanbalken in der Vergangenheit die am häufigsten eingesetzte statische Deflektionsmessung dar. Neben der leichten Handhabung sprechen auch die Vorteile der schnellen Messdurchführung, sowie die geringen Beschaffungskosten für das Messverfahren. Der Benkelmanbalken besteht aus einem fahrbaren Traggestell, einem

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Messbalken und einer Messuhr, wobei der Messbalken in einem Hebelverhältnis 2:1 auf dem Traggestell aufliegt. Mit dem Messbalkens wird die vertikale Senkung der Straßenoberfläche, die durch einen Zwillingsreifen eins LKW hervorgerufen wird, auf eine Messuhr übertragen. Als Ergebnis erhält man die totale Deflektion. Allerdings sind die Deflektionsergebnisse oft mit Vorsicht zu genießen. Messungenauigkeiten können auftreten, wenn die Standfüße des Benkelmanbalkens in der Einsenkmulde zu liegen kommen. Des Weiteren liefert die Methode nur eine punktweise Tragfähigkeitsbeurteilung, da nur ein Deflektionspunkt, je Messung erfasst wird. Auch die nicht eindeutig geregelte zeitliche Abfolge, zwischen dem Aufstellen des Belastungsfahrzeuges und der Messuhrablesung, macht die Vergleichbarkeit unter verschieden Versuchen schwierig. [8]

Abbildung 13: Benkelmanbalken [18]

Messablauf

Als Belastung wird der Zwillingsreifen eines zweiachsiger LKWs mit einer Radlast zwischen 45 kN und 60 kN und einem Reifendruck von >7 bar eingesetzt. Dieser wird genau über dem Messpunkt platziert. Der Benkelmanbalken ist so zu positionieren, dass die Spitze des Hebelarms genau in die Mitte zwischen die Zwillingsreifen aufliegt. Hierbei handelt es sich üblicherweise um ein fahrbares Traggestell, welches im Verhältnis 1:2 drehbar aufgebaut ist. Am anderen Ende des Balkens befindet sich eine Messuhr zur Erfassung der Verschiebung. Der Benkelmanbalken ist mit Hilfe von Fußschraube bzw. Dosierlibellen in horizontaler Lage zu kalibrieren. Die Messuhr ist vor Beginn der Messung auf null zu stellen. Die erste Ablesung der Messuhr erfolgt im belasteten Zustand, nach vollständigem Abklingen der Setzungen, auf 1/100mm genau. Danach ist der LKW langsam vom Messpunkt wegzufahren. Die zweite Ablesung erfolgt, sobald sich der Uhrzeiger weniger als 1/100 pro Minute bewegt. des Hebelverhältnis von 2:1 ergibt sich die Deflektion zu: $d = 2 * (A_1 - A_2)$ In nachstehender Abbildung 14 ist der Versuchsablauf dargestellt. [8]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

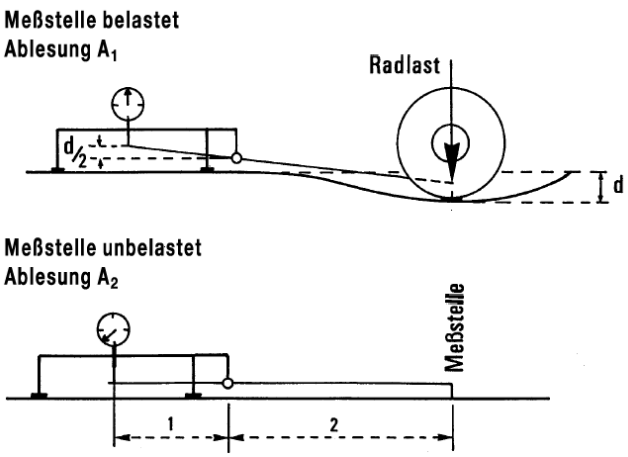


Abbildung 14: Benkelmanbalken – Versuchsablauf [19]

3.4.1.2 Optische Deflektionsmessung

Die Versuchsdurchführung der optischen Deflektionsmessung ist dem des Benkelmanbalken sehr ähnlich. Sie wird in der RVS 11.06.63 geregelt. Der Messpunktbefindet sich wie beim Benkelmanbalken zwischen den Zwillingsreifen des Lastwagens, jedoch wird die vertikale Verschiebung mit einem Nivelliergerät erfasst. Diese optische Deflektion eignet sich vor allem für die Erfassung von Befestigungen mit großer lastverteilender Wirkung, deren Einsenkungsmulde eine geringe Tiefe, aber eine große Ausdehnung aufweist. Diese Eigenschaft tritt häufig bei stabilisierten Schichten und dicken Asphaltschichten auf. Auch die Positionierung des Messgerätes außerhalb des möglichen Einsenkmuldenbereichs, führt zu einer größeren Messgenauigkeit als mit dem Benkelmanbalken. Jedoch liefert diese Methode nur eine punktweise Tragfähigkeitsbeurteilung, da nur ein Deflektionspunkt je Messung erfasst wird. [19]

Messablauf

Eine Messmarke wird zwischen den Zwillingsreifen im Zentrum der Belastungsfläche auf den Messpunkt platziert. In einen Abstand von mindesten 8 m wird das Nivelliergerät aufgestellt und auf das Messkreuz der Messmarke ausgerichtet. Die erste Messung wird im belasteten Zustand zweimal durchgeführt. Beide Messungen ergeben im Mittel die Ablesung A_1. Danach erfolgt die Entlastung, durch das Wegfahren des LKWs. Nach einer Wartezeit von 2 min, damit die Hebungen der Messmarke vollständig abklingen können, wird der Abstand zur Messmarke mindestens drei Mal erneut gemessen. Es erfolgt abermals eine Mittelung der Messergebnisse zum Wert A_2. Aus der Differenz der Ablesungen A_1 und A_2 ergibt sich die Verschiebung d‘. Damit man die Deflektion d erhält, wird die Verschiebung d‘ durch den Cosinus des Winkels zwischen der Horizontalen und der Zielachse dividiert. [19]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

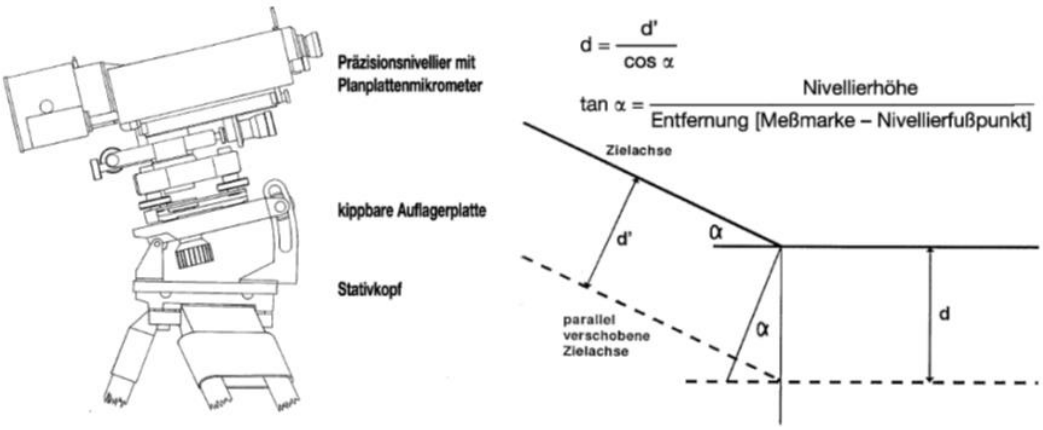


Abbildung 15: Nivelliergerät & Umrechnung der Verschiebung d‘ auf die Deflektion d [19]

3.4.2 Dynamische Deflektionsmessung

Dynamische Deflektionsmessungen simulieren die impulsartige Belastung infolge der Überfahrt durch einen LKW, näher an der Wirklichkeit als statische Deflektionsmessungen. Zu der Kategorie der dynamischen Deflektionsmessung zählen der Fallgewichtsdeflektometerversuch, der eine stoßartige Belastung im Straßenkörper erzeugt und die dynamische Lastplatte, welche die Belastung durch sinusförmige Lastschwingungen im Oberbau einträgt. In den nachfolgenden Unterabschnitt wird auf die Verfahren kurz eingegangen. [8]

3.4.2.1 Fallgewichtsdeflektometer FWD

Bei der Ermittlung der Tragfähigkeit mit dem Fallgewichtsdeflektometer (FWD, engl. Falling Weiht Deflectometer) wird durch das Fallenlassen eines Fallgewichts aus einer definierten Höhe, welches auf ein gedämpftes Federsystem auf einer Lastplatte (Ø =30 cm) auftrifft, ein Lastimpuls in die Straßenoberfläche eingeleitet. Die Wahl der Stoßkraft richtet sich nach der Steifigkeit der zu untersuchenden Schichten und deren Dicken und beträgt zwischen 50 und 350 kN. Die Belastungszeit durch das Fallgewicht wird der maßgebenden Radlast der Dimensionierung angepasst und ist zwischen 25 bis 35 ms. Der Lastimpuls erzeugt eine „Wellenfront von elastischen Deflektionen, welche sich vom Belastungspunkt abflachend ausbreiten. Die elastische Deflektion der Asphaltoberfläche und die Form der Einsenkmulde wird mittels Deflektionsaufnehmer gemessen. Hierbei kommen Geophone, Seismometer bzw. Accelerometer zum Einsatz. Die Deflektionsaufnehmer sind ausgehend vom Belastungspunkt in genau festgelegten Abständen in radialer Richtung gemäß RVS 11.06.72 anzuordnen. Bei Asphaltstraßen beträgt die Mindestanzahl neun Stück. Mit Hilfe der Dicken der einzelnen Schichten und der Temperatur zum Messzeitpunkt, wird der Elastizitätsmodul der einzelnen Schichten infolge der Deflektionsmulde abgeschätzt. Die Messdurchführung eines Messpunktes plus Versetzen dauert üblich unter einer Minute. [20], [8]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

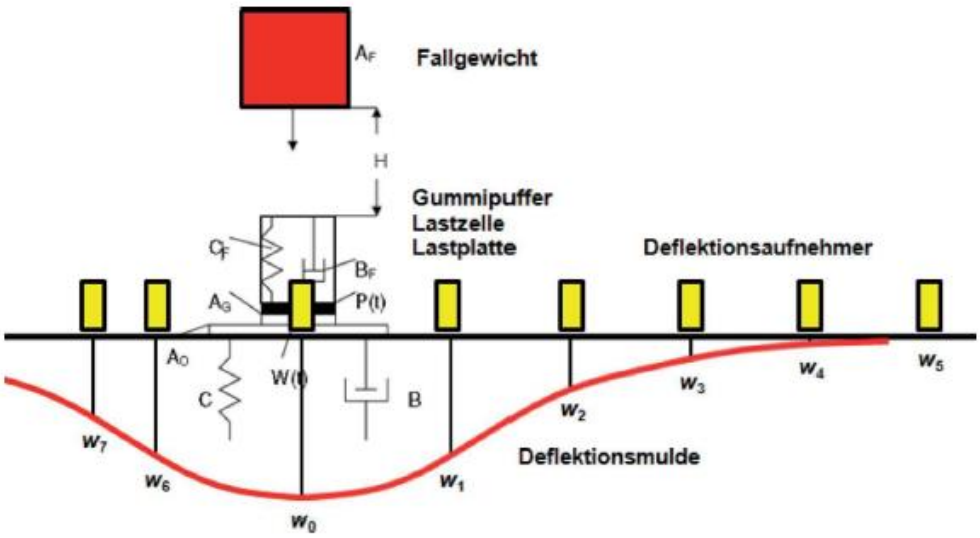


Abbildung 16: Messprinzip der Tragfähigkeitsmessung und Deflektionsmulde [19]

3.4.2.2 Dynamische Lastplatte

Die zweite Form der dynamischen Deflektionsmessung stellt die Methode der dynamischen Lastplatte dar. Mit einer in Sinusschwingungen versetzten Lastplatte, wird eine dynamische Verformungen in der Straßenoberfläche erzeugt. Die resultierenden Verformungen werden in genau festgelegter Entfernung mit Beschleunigungsaufnehmern gemessen. Der frequenzabhängige dynamische Verformungsmodul der einzelnen Schichten kann aus dem Spannungs-Dehnungsverhältnis um den Schwingungsanreger bestimmt werden. Auf eine detaillierte Beschreibung wird hier verzichtet, da dieses Verfahren in Österreich kaum zur Anwendung kommt. [8]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4 Methoden der Bemessung von Oberbauverstärkungen

In Kapitel 4 wird auf die unterschiedlichen Verfahren zu Ermittlung der Schichtstärken von Oberbauverstärkungen eingegangen. Es wird die Vergleichsmethode vorgestellt sowie auf die Methode der rechnerischen Dimensionierung von Verstärkungsschichtdicken eingegangen. Die neue RVS 03.08.64 (Entwurf) unterscheidet sich zur „alten", momentan gültigen Norm RVS 03.08.64;1992, sowohl in der Methodendefinition, der Strukturierung und den Bemessungsmethoden.

4.1 Vergleichsmethode [2]

Die Grundlage der beschriebenen Vergleichsmethode ist das österreichische Dimensionierungsverfahren, welches für die Neudimensionierung von Asphaltstraßen gemäß RVS 03.08.63 verwendet wird. Für die Ermittlung der erforderlichen Anzahl an Bemessungsnormallastwechseln, kurz BNLW, ist von der zukünftigen Verkehrsbelastung auszugehen. Durch die ermittelte Anzahl der BNLW, erfolgt die Auswahl der erforderlichen Schichtdicken des Oberbaus im Bemessungskatalog der RVS 03.08.63/Tabelle-8. Die Dicke der bituminösen Schicht stellt die Dimensionierungsschichtdicke D_D für die Verstärkung dar. Die Dimensionierungsschichtdicke D_D wird mit der vorhanden Bestandsdicke D_B verglichen. Verkehrlichen und klimatischen Beanspruchungen führen in den vorhanden Oberbauschichten, vor Allem in den gebundenen Schichten, im Laufe der Liegedauer zu einer gewissen Vorschädigung. Infolgedessen darf die Tragfähigkeit des Bestandsaufbaus nicht mit der vollen Größe in Rechnung gestellt werden. Für die Bestimmung der Verstärkungsschichtdicke D_V ist daher eine Ausgleichsschichtdicke D_A zu berücksichtigen, um den Tragfähigkeitsverlust des Bestandsaufbaus zu kompensieren. Die Verstärkungssichtdicke D_V errechnet sich somit aus:

$$D_V = D_D + D_A - D_B \tag{1}$$

Mit:

Ausgleichsschichtdicke D_A [cm] lt. RVS 03.08.64/Tabelle 1 – benötige Mehrdicke, welche aufgrund einer verminderten Tragfähigkeit des Bestandaufbaus berücksichtigt wird

Bestandsschichtdicke D_B [cm] - Gesamtdicke der Asphaltschicht im Bestandsaufbau

Dimensionierungsschichtdicke D_D [cm] - benötigte Gesamtdicke der Asphaltschicht, für die Aufnahme die zukünftigen Verkehrsbelastungen gemäß der Bemessung lt. RVS 03.08.63/Tabelle8 (siehe 4.1.1)

Verstärkungsschichtdicke D_V [cm] – Dicke der Asphaltschicht, die ergänzend zur Bestandsschichtdicke zur Aufnahme der künftigen Bemessungsnormallastwechsel benötigt wird

In Abhängigkeit von der Resttragfähigkeit kann in Tabelle 1 die Ausgleichsschichtdicke entnommen werden:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 1: Ausgleichsschichtdicke D_A in Abhängigkeit von der Resttragfähigkeit [2]

Resttragfähigkeit der bestehenden Asphaltschichtdicke [%]	Ausgleichsschichtdicke D_A [cm]
90 bis 100	±0
70 bis 89	+2
50 bis69	+4
< 50	Erneuerung

4.1.1 Österreichische Dimensionierungsverfahren lt. RVS 03.08.63 [21]

Grundlagen

Die Dimensionierungsschichtdicke D_D wird für eine festgelegte Anzahl an Achsübergängen in ihrer Bemessungsdauer ausgelegt. Die Bemessungsdauer einer Asphaltstraße beträgt üblicherweise 20 Jahre. Die zukünftige Verkehrsbelastung ist die Basis für die Bemessung der benötigten Oberbauverstärkung. [6]

Äquivalente Anzahl an Normallastwechseln:

Die Beanspruchung einer Asphaltstraße setzt sich durch den Übergang von verschieden hohen Achslasten, abhängig der Kfz-Bauart zusammen. Um diesen Umstand zu vereinfachen, wird die Gesamtbelastung auf eine gleichwertige Anzahl von Übergängen einer einheitliche Normlastwechsel umgerechnet. Die Normachslast beträgt in Österreich 100 kN. Dies erfolgt mit Hilfe von sogenannten Achslastäquivalenzfaktoren, welche in der RVS 03.08.63/Tabelle1&2 festgelegt sind. [6]

Ermittlung der maßgebenden Verkehrsbelastung

Die für die Bemessung maßgebende Verkehrsbelastung wird durch die äquivalente Anzahl von Übergängen einer Normachslast von 100 kN als Anzahl an Bemessungsnormlastwechseln (BNLW) beschrieben. Dabei ist der höchstbelastetet Fahrstreifen entscheidend. Die maßgebende Anzahl an Bemessungsnormallastwechseln berücksichtigt hierbei die Verteilung des Schwerverkehrs in den Fahrtrichtungen, die vorhandene Fahrstreifenanzahl sowie die Spurvariation innerhalb eines Fahrstreifens. Des Weiteren wird die Bemessungsdauer und die prognostizierte Verkehrszunahme innerhalb der Bemessungsperiode einbezogen. Je nach vorhandener Information über die Verkehrsbelastung, kann die Umrechnung auf durchschnittlich tägliche Normlastwechsel auf zwei Arten erfolgen. [9] BNLW ergibt sich wie folgt:

$$BNLW = NLW_{tägl} * R * V * S * 365 * n * z \tag{2}$$

$NLW_{tägl}$ Anzahl der durchschnittlich täglichen Normlastwechsel für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe [-]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Berechnung von $NLW_{tägl}$:

- bei Kenntnis der jährlich durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke JDTV; der Fahrzeugkategorie i im gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe:

$$NLW_{tägl} = \sum_i JDTV_i * Ä_i \tag{3}$$

mit:

$JDTV_i$ Jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie i gemäß Tabelle 1 für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe

$Ä_i$ Mittlerer Äquivalenzwert der jeweiligen Fahrzeugkategorie i gemäß Tabelle 2[-]

Tabelle 2: Mittlerer Äquivalenzwert für verschiedene Fahrzeugkategorien i

Fahrzeugkategorie	$Ä_i$
LKW	0,8
LKW mit Anhänger	1,25
Sattelzug	2
Bus	0,6
Linienbus (ÖPNV)	0,8
Liniengelenkbus (ÖPNV)	1,4

- wenn keine Ergebnisse aus Verkehrszählungen mit Unterscheidung der Fahrzeuge in Fahrzeugkategorien i vorliegen:

$$NLW_{tägl} = JDTLV_{ges} * Ä_{JDTLV} \tag{4}$$

mit:

$JDTLV_{ges}$ Jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke (LKW, LKW-ähnliche Fahrzeuge und Busse je 24 h, alle Tage) für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe; ermittelt aus Verkehrszählungen bzw. aufgrund von Abschätzungen über JDTV-Wert und Lastverkehrsanteil

$Ä_{JDTLV}$ Mittlerer Äquivalenzwert des JDTLV-Kollektivs für die entsprechende Straßenkategorie gemäß Tabelle 3 [-]

Tabelle 3: Mittlerer Äquivalenzwert des JDTLV-Kollektivs für verschiedene Straßenkategorien

Straßenkategorie	$Ä_{JDTLV}$
Bundesstraßen A und S	1,6
Sonstige Straßen	1,45

R Richtungsfaktor für die Aufteilung des Lastverkehrs auf die Fahrtrichtungen (0,5 bei gleichmäßiger Aufteilung des Lastverkehrs auf beide Fahrtrichtungen

V Faktor zur Berücksichtigung der Verteilung des Lastverkehrs auf mehrere Richtungs-fahrstreifen (1,0 bei einem bzw. zwei Richtungsfahrstreifen; 0,9 bei drei oder mehr Richtungsfahrstreifen) [-]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

S Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens gemäß den Werten der Tabelle 4 [-]

Tabelle 4: Fahrspurfaktor S in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite b_f

b_f [m]	< 3,0	3,00	3,25	3,50	3,75	≥ 4,0
S	1,00	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

n Bemessungsperiode in Jahren (im Regelfall 20 Jahre für bituminöse Befestigungen)

z Zuwachsfaktor unter Berücksichtigung einer jährlichen Zuwachsrate p [%]

$$z = \frac{q^n - 1}{n * (q-1)} \quad \text{mit} \quad q = 1 + \frac{p}{100} \tag{5}$$

Tabelle 5: Zuwachsfaktor z in Abhängigkeit von Bemessungsperiode n und jährlicher Zuwachsrate p [%]

		Mittlere jährliche Zuwachsrate p[%]					
		0	1	2	3	4	5
Bemessungsperiodie [Jahre]	5	1	1,02	1,04	1,06	1,08	1,11
	10	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,26
	15	1	1,07	1,15	1,24	1,33	1,44
	20	1	1,1	1,22	1,34	1,49	1,65
	25	1	1,13	1,28	1,46	1,67	1,91
	30	1	1,16	1,35	1,59	1,87	2,21

Standardisierte Oberbauausführungen

Mit Hilfe der standardisierten Oberbauausführungen der RVS 03.08.63 (siehe Tabelle 7) können in Abhängigkeit der berechneten BNLW entsprechende Straßenoberbaukonstruktion ausgewählt werden.

4.1.2 Ermittlung der Resttragfähigkeit

Die Ermittlung der Resttragfähigkeit der bituminösen Bestandsschicht kann anhand zweier Methoden erfolgen. Um schnelle Anhaltswerte für die Resttragfähigkeit einer Asphaltschicht zu bekommen, bedient man sich der Empirischen Methode. (s. Pkt. 4.1.2.1). Es benötigt kein zusätzliches Tragfähigkeitsmessverfahren und ist rein durch ein geschultes Auge anwendbar. Jedoch stellt die Methode nur ein Näherungsverfahren dar, welches gewisse Ungenauigkeiten mit sich bringen kann.

Die zweite Ermittlungsmöglichkeit der Resttragfähigkeit ist die Deflektionsmethode. Man zieht einen Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Werten für die Tragfähigkeit. Dabei werden mit dem Fallgewichtsdeflektor oder mit dem Benkelmanbalken Tragfähigkeitsmessungen durchgeführt. Die Durchführung ist im Vergleich mit der empirischen Methode, mit mehr Arbeitszeit verbunden, liefert jedoch genauere Wert der Resttragfähigkeit. Somit ist mit der Deflektionsmethode eine effizientere Dimensionierung der Oberbauverstärkung möglich, wodurch wiederum Material- und Baukosten eingespart werden können. Neben den wirtschaftlichen Vorteilen, ist auch der bessere ökologische Fußabdruck hervorzuheben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.1.2.1 Empirische Methode

Die Empirische Methode ist eine Näherungsmethode für die Bestimmung der Resttragfähigkeit von bituminös gebundenen Schichten auf ungebunden Tragschichten. Sie beruht auf der visuellen Beurteilung des Oberflächenzustandes der Deckschicht. Diese Methode wird vorwiegend für kurze Sanierungsabschnitte verwendet. Ihr Anwendungsbereich erstreck sich über alle in der RVS 03.08.63 - Tabelle 8 geregelten Lastklassen LK0,05 bis LK163, darf jedoch nur für die Bautypen AS1 und AS2 verwendet werden. Eine weitere Voraussetzung für die Anwendbarkeit ist die Frostsicherheit der ungebundenen Tragschichten. Werden die Voraussetzungen erfüllt, so kann die Resttragfähigkeit gemäß Tabelle 6 abgeschätzt werden.

Tabelle 6: Resttragfähigkeit in Abhängigkeit vom visuellen Zustand

Zustand der bituminösen Schicht	Resttragfähigkeit der bestehenden Asphaltschichten [%]
Im wesentlichen rissfrei	90 bis 100
Einige Einzelrisse sowie vereinzelte kleine Netzrissebereiche	70 bis 89
Zahlreiche Einzel- und größere Netzrissbereiche	50 bis 69
Ausgedehnte Rissbildung, stark zerstörte Asphaltschicht, beträchtliche Zerbröckelungen	< 50 (Erneuerung)

4.1.2.2 Deflektionsmethode [2]

Die Deflektionsmethode beruht auf dem Grundsatz, dass die Resttragfähigkeit der Asphaltschichten im direkten Zusammenhand mit den gemessenen Deflektionen stehen. Dies bedeutet, je größer die Einsenkung an der Oberfläche unter definierter Belastung ist, umso geringer ist ihre Resttragfähigkeit. Die Deflektionen der Straßenoberfläche können mittels Tragfähigkeitsmessung mit dem Benkelmanbalken (s. Pkt. 3.4.1.1) oder dem Fallgewichtsdeflektometer (FWD) (s. Pkt. 3.4.2) gemessen werden.

Um die gemessenen Einsenkungen in Bezug auf die Resttragfähigkeit beurteilen zu können, wurden für die unterschiedlichen Bautypen und Lastklassen des Bemessungskatalogs der RVS 03.08.63, bei unterschiedlicher Resttragfähigkeit mittels Mehrschichtentheorie-Simulationsberechnungen (MST-Tool) aufgestellt. Bei der Simulation der Einsenkungen wurde berücksichtigt, dass Tragfähigkeitsmessungen und deren Ergebnisse erheblich von klimatischen Rahmenbedingungen abhängen. Starken Einflussnahme nehmen dabei die jahreszeitlich variierenden Untergrundtragfähigkeiten sowie die Asphalttemperatur, welche in Wechselwirkung mit der Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung und Windverhältnissen steht. Aus dieser Tatsache wurde die Simulationsberechnung für sechs Temperaturperioden, mit jeweils bis zu zwölf unterschiedlichen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Temperaturprofilen und wechselnden jahreszeitlichen Untergrundtragfähigkeiten ermittelt. Darüber hinaus wurde die Tragfähigkeit der Asphaltschicht zwischen 50% und 100% der Ausgangstragfähigkeit variiert. Unter der Ausgangstragfähigkeit versteht sich die Tragfähigkeit zum Zeitpunkt der Errichtung, wie sie auch für die Dimensionierung bzw. die Entwicklung der Oberbaustandards im Bemessungskatalog berücksichtigt wurde. Ein anschließender Vergleich zwischen den gemessenen Einsenkungswerten, mit den jeweiligen simulierten Deflektionswerten, ermöglicht eine Beurteilung der Resttragfähigkeit der Asphaltschicht zwischen 50% und 100% der Ausgangstragfähigkeit. [2]

Angesichts der unterschiedlichen Tragfähigkeitsmessmethoden werden die Mess- bzw. Simulationsergebnisse unterschiedlich bestimmt:

- Messungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer:
  Sowohl die Mess-, als auch die Simulationsergebnisse werden mittels Einsenkungsmodul M_{D1} bewertet und anschließend miteinander verglichen. Die Bestimmung des Einsenkungsmodul ergibt sich zu:

$$M_{D1} = \frac{\sigma_{FWD}}{\varepsilon_{FWD}} \tag{6}$$

mit:

$$\sigma_{FWD} = \frac{F}{r^2 * \pi} \tag{7}$$

und

$$\varepsilon_{FWD} = \frac{D_1}{10000 * d_{Asphalt}} \tag{8}$$

D_1	Einsenkung direkt unter der Lastplatte [µm]
$d_{Asphalt}$	Dicke des Asphaltpakets [cm]
F	aufgebrachte Last [N]
r	Radius Lastplatte FWD [mm]
ε_{FWD}	Verformung der Asphaltschicht unter dem Zentrum der Lastplatte [-]
σ_{FWD}	Kontaktspannung unter der Lastplatte [N/mm²]

- Messung mit dem Benkelmanbalken:
  Dieses Messverfahren erlaubt einen direkten Vergleich der gemessenen mit den simulierten Deflektionen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Als Abhilfe für die effiziente Auswertung der Messungen, wird ein Softwaretool (siehe Abbildung 17) angeboten, mit dessen Hilfe es möglich ist, die Resttragfähigkeit der bituminösen Bestandschicht zu ermitteln.

Die Eingabewerte lauten wie folgt:

- Bautyp lt. RVS 03.08.63
- Lastklasse lt. RVS 03.08.63
- Datum der Tragfähigkeitsmessung
- Oberflächentemperatur der bituminösen Schicht
- Deflektionswert an der Oberfläche – FWD/Benkelmanbalken

Abbildung 17: Eingabemaske Softwaretool

4.2 Rechnerische Dimensionierung der Verstärkungsschichtdicke [2]

Als zweite Dimensionierungsmethode neben der Vergleichsmethode bietet die RVS 03.08.64 (Entwurf) auch noch die Möglichkeit die erforderliche Verstärkungsschichtdicke mittels analytischer Methodenzu bestimmen. Dieses Verfahren steht in enger Anlehnung an die Methode der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen gemäß RVS 03.08.68. Die wesentlichen Eingangswerte für die Berechnung, neben den Schichtdicken, sind die E-Module der einzelnen Schichten der Straßenkonstruktion, einschließlich des Untergrunds. Sie werden aus Laboruntersuchungen und aus Tragfähigkeitsmessungen mittels FWD-Versuche bestimmt. Dabei beeinflusst die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ermüdungsbeständigkeit der einzelnen Schichten, maßgeblich die zulässige Beanspruchung und somit die Ermittlung der Verstärkungsschichtdicke.

Die Methode der Rechnerischen Dimensionierung darf für alle Bautypen der Bemessungstabellen lt. RVS 03.08.63 angewendet werden.

Analytische Methoden kommen vorwiegend zu Anwendung, wenn:

- die zu verstärkende Straßenkonstruktion eine wesentlich bessere Tragfähigkeit hat, als die Standartaufbauten der RVS 03.08.63 vorgeben,
- die zu verstärkende Straßenkonstruktion mit den Standartaufbauten des Bemessungskatalog nicht vergleichbar ist, oder
- die Verstärkungsschicht aus nicht konventionellem Asphalt besteht und deren Festigkeits- bzw. Ermüdungseigenschaften von herkömmlichen Asphalten abweicht.

4.3 Vorgehensweise in der Praxis

Die Entscheidung welche Methode in der Praxis zu Anwendung kommt, ist vor allem der vorhanden Datengrundlage sowie des Stellenwerts der Maßnahme geschuldet. Einen entscheidenden Einfluss in der Methodenauswahl stellt hier die visuelle Zustandsbeurteilung der vorhandenen Gegebenheiten dar. Für die Beurteilung des Tragfähigkeitsniveaus sowie für die Abschätzung der Gleichmäßigkeit der Tragfähigkeit werden Tragfähigkeitsmessungen herangezogen. Des Weiteren spielen Materialuntersuchungen der einzelnen Schichten eine wesentliche Rolle im Entscheidungsprozess. Hier wird vor allem die Frostsicherheit der Schichten geprüft. Zeigt eine der ungebundenen Schichten Differenzen zu den Sollwerten der Frostsicherheit auf, dürfen diese Schichten in Hinblick auf eine technisch einwandfreie Lösung nicht bei der Dimensionierung der Verstärkungsschicht berücksichtigt werden. Bei den gebundenen Schichten ist die Materialqualität ausschlaggebend. In der Praxis wird oft ein Kompromiss zwischen festgelegten Richtlinien und den vorzufinden Gegebenheiten getroffen. Die richtige Wahl im Entscheidungsprozess ist trotz der Abhilfe, durch die RVS 03.08.64, dem ingenieurmäßigen Beurteilungsvermögen geschuldet. [2]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

5 Erweiterung des Anwendungsbereichs der Vergleichsmethode für LK25 bis LK163

Im Zuge der Neugestaltung der RVS 03.08.64 (Entwurf-Stand 20.11.2020) - Oberbauverstärkungen von Asphaltstraßen, wird die Vergleichsmethode (4.1) für die Ermittlung der Verstärkungsschicht neu strukturiert bzw. überarbeitet. Der vorhandene Vorentwurf der Vergleichsmethode der neuen RVS, wurde auf Basis von Untersuchungsergebnissen der Lastklasse LK0,05 bis LK10 entwickelt. Damit der Anwendungsbereich der Vergleichsmethode auch für die Lastklassen LK25 bis LK163 Gültigkeit erlangt, erfolgt eine Überprüfung durch Simulationsberechnungen. Konkret wird die momentan festgelegte Tabelle der Ausgleichsschichtdicke D_A, gemäß dem RVS-Entwurf, auf Anwendbarkeit für die Lastklassen LK25 bis LK163 kontrolliert und gegeben falls angepasst.

5.1 Eingangsgrößen der Simulationsberechnung

In diesem Abschnitt des Kapitels werden die Eingangsgrößen für die Simulationsberechnung angeführt. Es wird ausführlich auf die Belastung, Oberbauschichtdicken und Materialeigenschaften eingegangen.

5.1.1 Verkehrsbelastung

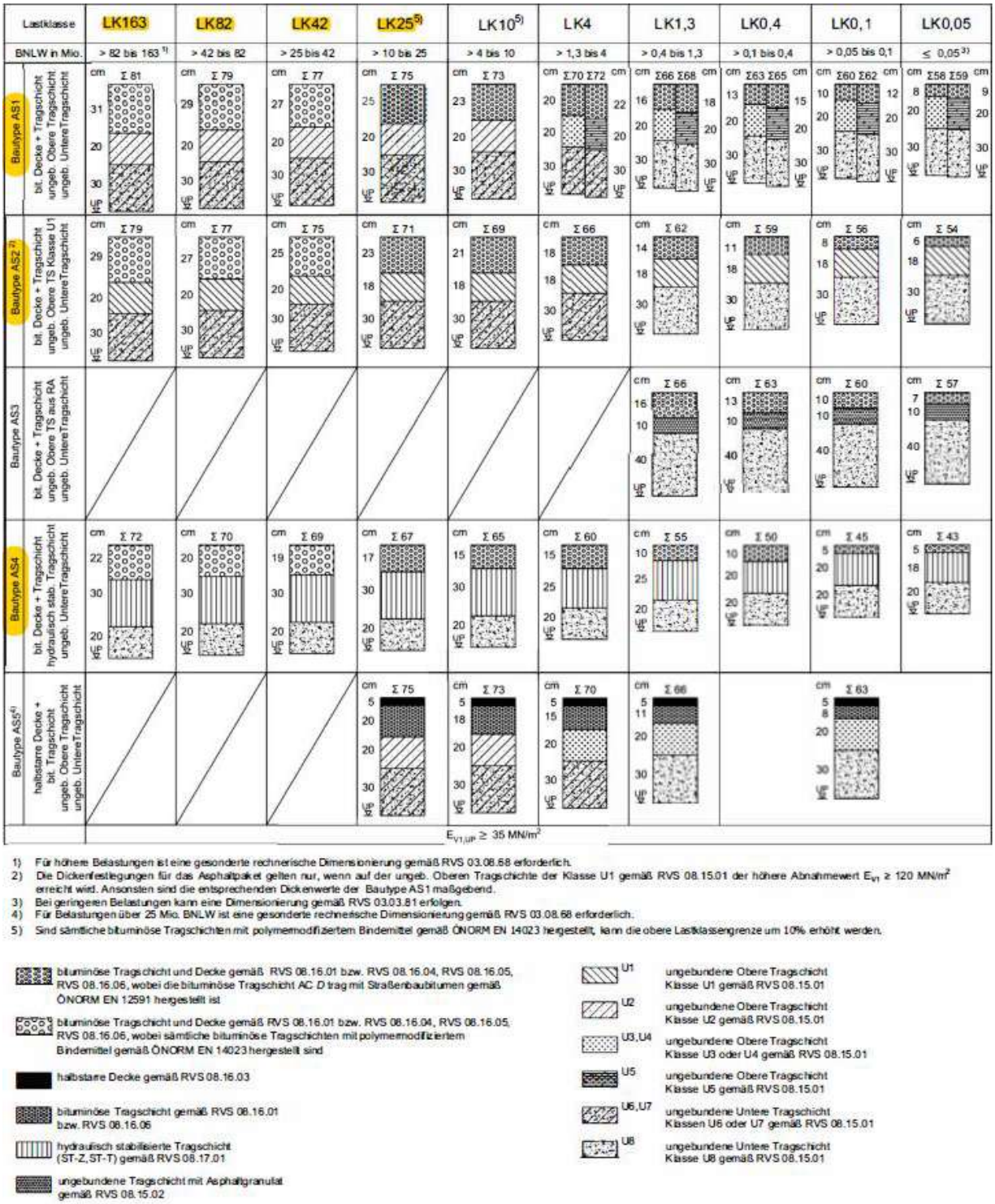
Für die Durchführung der Simulationsberechnung wird die Verkehrsbelastung anhand einer 100 kN schweren Normalachse festgelegt. Bei der Benkelmanbalkenmessung (siehe Pkt. 3.4.1.1) wird die Belastung durch einen Zwillingsreifen aufgebracht und die entsprechenden Deflektionen am Messpunkt zwischen den Reifen abgelesen. Damit die simulierten Deflektionswerte mit den gemessen Deflektionswerten vergleichbar sind, wird die Simulationsbelastung, der Belastung infolge eines Zwillingsreifens nachgebildet. Es wird dafür eine Simulationsbelastung von 50 kN gewählt. Der Kontaktdruck des Zwillingsreifens wird mit $p = 700\ kN/m^2$ angenommen, dies entspricht einem Reifeninnendruck von 7 bar.

5.1.2 Bemessungstabellen

In Österreich erfolgt die Bemessung des Oberbaues bei Neubau oder Erneuerung von Straßenverkehrsflächen nach der aktuellen österreichischen Bemessungsmethode. Diese wird in der RVS 03.08.63:2016 geregelt. Basierend auf dieser Methode sind in der RVS 03.08.63:2016 Standardaufbauten von Asphaltstraßen in sogenannten Bemessungstabellen in Abhängigkeit der Lastklasse für verschiedene Bautypen festgelegt. Für die Erweiterung des Anwendungsbereiches der Vergleichsmethode wird anhand der Lastklassen LK25 bis LK163 der Bautypen AS1, AS2 und AS3 Simulationsrechnungen durchgeführt. Die Bemessungstabelle der RVS03.08.63 ist folgend in Tabelle 7 dargestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 7: Bemessungstabelle für Oberbauten mit Asphaltbefestigung [21]



5.1.3 Klima

Die jahreszeitlich schwankenden Temperaturverhältnisse werden mithilfe des von Wistuba 2003 erarbeiteten Temperaturmodells berücksichtigt. Die Grundidee des Temperaturmodells geht auf das 1973 entwickelte Bemessungsmodell von Mais zurück. [22] Es bezieht sich jedoch im Gegensatz zu den Untersuchungen nach Mais auf meteorologische Langzeituntersuchungen in Österreich.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Für die realitätsnahe Ermittlung der Temperaturverhältnisse im bituminösen Straßenoberbau für unterschiedliche Klimaregionen ist Österreich in zwei Klimazonen aufgeteilt. In die inneralpine Temperaturzone I und die Temperaturzone II, die sich auf das gesamte Flach- und Hügelland bezieht. (siehe. Abbildung 18)

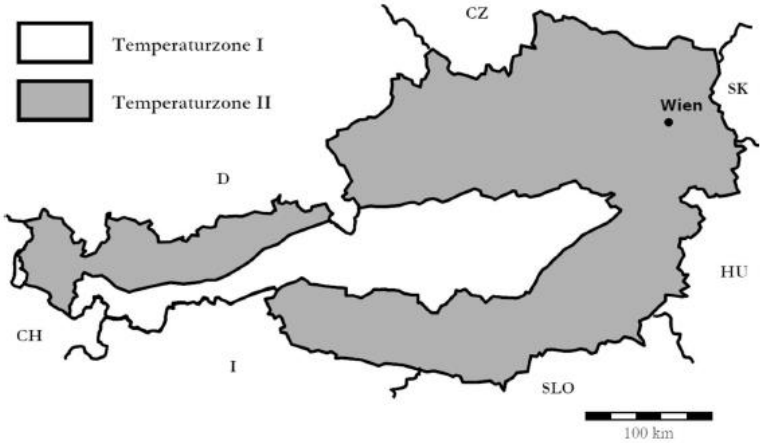


Abbildung 18: Temperaturzonenkarte (bituminöse Straßenoberbau) für Österreich [23]

Um einerseits die täglichen und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen in den bituminösen Schichten und anderseits die temperaturabhängigen asphaltmechanischen Eigenschaften zu beschreiben, wird das Jahr in 6 Klimaperioden eigenteilt. Die Klimaperioden werden weiter unterteilt in unterschiedliche Tag- und Nachttemperaturen. Damit ergeben sich zwölf Temperaturperioden mit nahezu identen Temperaturverhältnis über ein Jahr. (siehe Tabelle 8)

Tabelle 8: Temperaturperioden und deren Anteil pk an einem Jahr [24]

Jahreszeit	16.Dez - 15.März		16.März - 15.Mai		16.Mai - 15.Juni		16.Juni - 15.Sep.		16.Sep. - 15.Okt.		16.Okt. - 15.Dez	
Tage	90		61		31		92		30		61	
Jahres-anteil	0,24		0,17		0,09		0,25		0,08		0,17	
Temperatu-periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pk	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

Um den Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Tiefe unter der Fahrbahnoberkante in der Dimensionierung berücksichtigen zu können, werden die Temperaturprofile nach RVS 03.08.68 (siehe. Tabelle 9 und

Tabelle 10) verwendet. Die Temperaturen in den Schichten, welche die Tabelle nicht erfasst, dürfen linear interpoliert werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 9: Temperaturprofile [C°] in Temperaturzone I [23]

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]											
0	-5,7	-12,3	-1,3	1,2	27,7	5,9	37,8	3,0	7,5	2,4	5,7	-2,2
1	-4,8	-11,2	-0,8	2,3	25,9	7,5	36,0	4,4	8,8	3,7	6,2	-1,4
2	-3,9	-10,1	-0,3	3,3	24,1	9,1	34,1	5,8	10,0	5,0	6,7	-0,7
3	-3,1	-9,1	0,2	4,4	22,2	10,7	32,3	7,2	11,3	6,3	7,3	0,1
4	-2,2	-8,0	0,7	5,4	20,4	12,3	30,4	8,6	12,5	7,6	7,8	0,8
5	-1,3	-6,9	1,2	6,5	18,6	13,9	28,6	10,0	13,8	8,9	8,3	1,6
6	-1,3	-6,5	1,5	7,3	18,0	14,4	27,1	11,3	13,7	9,7	7,8	2,1
7	-1,3	-6,1	1,8	8,1	17,5	15,0	25,6	12,6	13,6	10,5	7,3	2,6
8	-1,2	-5,7	2,1	8,9	16,9	15,5	24,2	13,9	13,6	11,4	6,8	3,0
9	-1,2	-5,3	2,4	9,7	16,4	16,1	22,7	15,2	13,5	12,2	6,3	3,5
10	-1,2	-4,9	2,7	10,5	15,8	16,6	21,2	16,5	13,4	13,0	5,8	4,0
11	-1,4	-4,6	3,0	10,9	15,4	16,9	20,8	16,7	13,4	13,2	5,7	4,2
12	-1,6	-4,3	3,4	11,3	15,0	17,3	20,4	16,9	13,4	13,4	5,7	4,3
13	-1,9	-4,1	3,7	11,6	14,5	17,6	20,1	17,1	13,5	13,5	5,6	4,5
14	-2,1	-3,8	4,1	12,0	14,1	18,0	19,7	17,3	13,5	13,7	5,6	4,6
15	-2,3	-3,5	4,4	12,4	13,7	18,3	19,3	17,5	13,5	13,9	5,5	4,8
16	-2,5	-3,5	4,6	12,5	13,7	18,3	19,0	17,7	13,3	14,0	5,3	4,9
17	-2,7	-3,5	4,9	12,6	13,8	18,2	18,6	18,0	13,0	14,1	5,1	5,0
18	-3,0	-3,6	5,1	12,6	13,8	18,2	18,3	18,2	12,8	14,1	4,9	5,1
19	-3,2	-3,6	5,4	12,7	13,9	18,1	17,9	18,5	12,5	14,2	4,7	5,2
20	-3,4	-3,6	5,6	12,8	13,9	18,1	17,6	18,7	12,3	14,3	4,5	5,3
21	-3,5	-3,6	5,8	12,7	13,9	18,0	17,4	18,8	12,0	14,3	4,3	5,3
22	-3,6	-3,5	5,9	12,6	14,0	17,9	17,3	19,0	11,7	14,3	4,2	5,3
23	-3,6	-3,5	6,1	12,6	14,0	17,7	17,1	19,1	11,5	14,3	4,0	5,3
24	-3,7	-3,4	6,2	12,5	14,1	17,6	17,0	19,3	11,2	14,3	3,9	5,3
25	-3,8	-3,4	6,4	12,4	14,1	17,5	16,8	19,4	10,9	14,3	3,7	5,3
26	-4,0	-3,4	6,6	12,4	14,1	17,4	16,5	19,6	10,6	14,4	3,5	5,7
27	-4,2	-3,4	6,8	12,4	14,2	17,4	16,2	19,8	10,4	14,4	3,3	5,3
28	-4,3	-3,4	7,1	12,5	14,2	17,3	16,0	20,0	10,1	14,5	3,2	5,3
29	-4,5	-3,4	7,3	12,5	14,3	17,3	15,7	20,2	9,9	14,5	3,0	5,3
30	-4,7	-3,4	7,5	12,5	14,3	17,2	15,4	20,4	9,6	14,6	2,8	5,6
31	-4,8	-3,4	7,7	12,5	14,3	17,1	15,2	20,6	9,3	14,6	2,6	5,7
32	-5,0	-3,4	7,9	12,5	14,4	17,0	14,9	20,8	9,1	14,7	2,4	5,7
33	-5,1	-3,4	8,1	12,5	14,4	17,0	14,7	21,0	8,8	14,7	2,3	5,8
34	-5,3	-3,4	8,3	12,5	14,5	16,9	14,4	21,2	8,6	14,8	2,1	5,8
35	-5,4	-3,4	8,5	12,5	14,5	16,8	14,2	21,4	8,3	14,8	1,9	5,9

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 10: Temperaturprofile [C°] in Temperaturzone II [23]

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]											
0	-2,8	-6,9	17,7	-0,9	24,5	9,5	37,4	10,7	24,6	3,7	-0,4	-3,6
1	-2,2	-6,3	15,8	0,1	22,9	10,7	35,6	11,7	24,6	4,9	0,4	-2,8
2	-1,5	-5,7	13,9	1,1	21,3	12,0	33,7	12,7	24,6	6,2	1,2	-2,1
3	-0,9	-5,1	11,9	2,1	19,6	13,2	31,9	13,7	24,7	7,4	1,9	-1,3
4	-0,2	-4,5	10,0	3,1	18,0	14,5	30,0	14,7	24,7	8,7	2,7	-0,6
5	0,4	-3,9	8,1	4,1	16,4	15,7	28,2	15,7	24,7	9,9	3,5	0,2
6	0,6	-3,5	7,9	4,6	16,3	16,6	27,2	16,4	24,2	10,6	3,7	0,7
7	0,7	-3,1	7,7	5,1	16,2	17,5	26,3	17,1	23,6	11,2	3,9	1,1
8	0,9	-2,8	7,6	5,6	16,2	18,4	25,3	17,9	23,1	11,9	4,1	1,6
9	1,0	-2,4	7,4	6,1	16,1	19,3	24,4	18,6	22,5	12,5	4,3	2,0
10	1,2	-2,0	7,2	6,6	16,0	20,2	23,4	19,3	22,0	13,2	4,5	2,5
11	1,1	-1,7	7,5	7,1	16,3	21,0	22,8	20,0	21,5	13,7	4,5	2,9
12	1,1	-1,3	7,7	7,6	16,5	21,9	22,2	20,7	21,0	14,2	4,6	3,4
13	1,0	-1,0	8,0	8,1	16,8	22,7	21,7	21,4	20,4	14,6	4,6	3,8
14	1,0	-0,6	8,2	8,6	17,0	23,6	21,1	22,1	19,9	15,1	4,7	4,3
15	0,9	-0,3	8,5	9,1	17,3	24,4	20,5	22,8	19,4	15,6	4,7	4,7
16	0,8	-0,1	8,8	9,4	17,6	24,7	20,3	23,1	19,1	15,8	4,6	4,9
17	0,7	0,1	9,1	9,7	18,0	25,0	20,1	23,4	18,7	16,0	4,6	5,1
18	0,7	0,4	9,4	10,1	18,3	25,4	19,8	23,8	18,4	16,3	4,5	5,2
19	0,6	0,6	9,7	10,4	18,7	25,7	19,6	24,1	18,0	16,5	4,5	5,4
20	0,5	0,8	10,0	10,7	19,0	26,0	19,4	24,4	17,7	16,7	4,4	5,6
21	0,5	1,0	10,1	10,8	19,1	26,0	19,5	24,6	17,6	16,9	4,2	5,7
22	0,5	1,2	10,2	10,8	19,2	26,0	19,5	24,9	17,4	17,1	4,1	5,9
23	0,6	1,4	10,4	10,9	19,3	26,0	19,6	25,1	17,3	17,2	3,9	6,0
24	0,6	1,6	10,5	10,9	19,4	26,0	19,6	25,4	17,1	17,4	3,8	6,2
25	0,6	1,8	10,6	11,0	19,5	26,0	19,7	25,6	17,0	17,6	3,6	6,3
26	0,6	2,0	10,7	11,1	19,6	26,0	19,8	25,8	16,9	17,8	3,4	6,4
27	0,6	2,2	10,8	11,1	19,7	26,0	19,8	26,1	16,7	18,0	3,3	6,6
28	0,7	2,4	11,0	11,2	19,8	26,0	19,9	26,3	16,6	18,1	3,1	6,7
29	0,7	2,6	11,1	11,2	19,9	26,0	19,9	26,6	16,4	18,3	3,0	6,9
30	0,7	2,8	11,2	11,3	20,0	26,0	20,0	26,8	16,3	18,5	2,8	7,0
31	0,7	3,0	11,3	11,4	20,1	26,0	20,1	27,0	16,2	18,7	2,6	7,1
32	0,7	3,2	11,4	11,4	20,2	26,0	20,1	27,3	16,0	18,9	2,5	7,3
33	0,8	3,4	11,6	11,5	20,3	26,0	20,2	27,5	15,9	19,0	2,3	7,4
34	0,8	3,6	11,7	11,5	20,4	26,0	20,2	27,8	15,7	19,2	2,2	7,6
35	0,8	3,8	11,8	11,6	20,5	26,0	20,3	28,0	15,6	19,4	2,0	7,7

5.1.4 Materialeigenschaften

In diesem Abschnitt wird auf die Materialeigenschaften der einzelnen Schichten eingegangen, welche für die Simulationsberechnung heranzuziehen sind. Eine wesentliche Rolle spielen hierbei die verschiedenen Steifigkeiten der Konstruktionsschichten. Wie allgemein bekannt, ist die Steifigkeit eine Kenngröße für den Widerstand gegen Verformungen. Sie beeinflusst somit maßgebend die Größe der Primärwirkungen (Spannungen und Dehnungen), die durch die Belastungen hervorgerufen wird. In den Simulationsberechnungen werden die Schichtsteifigkeiten berücksichtigt, die die Grundlage für die Erstellung der Oberbaustandards in der Bemessungstabelle der RVS 03.08.63:2016 darstellen. Ausgenommen ist der dynamische E-Modul der bituminösen Schicht, welcher in der Bemessungstabelle anhand eines Modellasphalts nach Shell [25] angenommen wird. Infolge der Verwendung der rechnerischen Dimensionierungsmethoden lt. RVS 03.08.68:2018 wird der temperaturabhänge E-Modul des Asphalts durch die erste Bemessungsstufe des Wiener Models beschrieben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.1.4.1 Untergrund

Angesichts der jahreszeitlich veränderlichen Tragfähigkeitsverhältnisse des Untergrundes, wird für die Dimensionierung das Jahr in vier Jahresperioden eingeteilt. Jeder Jahresperiode wird ein Steifigkeitsmodul des Untergrundes E_{UG} zugeordnet. (siehe Tabelle 11) Ausführlichere Informationen über die Bestimmung der Untergrundtragfähigkeitsbestimmung sind Pkt. 3.3 nachlesbar. [24]

Tabelle 11: Festlegung der Untergrundtragfähigkeiten in Abhängigkeit von der Jahresperiode [24]

Jahresperiode	Tragfähigkeit in % des Herbstwerts	angesetzter Modul $E_{dyn,UG}$ [MN/m²]
Winterperiode 16.12. - 15.3.	200	280
Frühjahrsperiode 16.3. - 15.5.	50	70
Übergangsperiode 16.5 - 15.6	70	100
Sommer-/Herbstperiode 16.6. - 15.12.	100	140

Die periodenabhängigen dynamischen Steifigkeitsmodule beruhen auf den Messungsergebnissen von Fredrickson (1963) [26], welche in der Abbildung 7 ersichtlich sind. Dabei ist zu erkennen, dass die niedrigsten Tragfähigkeitswerte in der Frühjahrsperiode zu erwarten sind. Die größten Tragfähigkeitswerte des Untergrunds weist hingegen der gefrorene Boden der Winterperiode auf. Draus folgte die konservative Näherung des dynamischen Elastizitätsmoduls $E_{dyn,UG,Frühjahrsperiode}$ mit dem statischen Verformungsmodul E_{V1} der Abnahmeprüfung des Unterbauplanums. [23]

$$E_{dyn,UG,Tauperiode} \approx 0,5 \cong E_{dyn,UG,Abnahmeprüfung} = 2 \cong \approx 0,5 \cong E_{V1} \qquad (9)$$

Die Oberbaustandards im Bemessungskatalog in RVS 03.08.63 beruhen auf einer Mindesttragfähigkeit des Unterbauplanums von mindestens $E_{V1,UG}$= 35MN/m². Daraus folgt der E-Modul der Frühjahrsperiode $E_{dyn,UG,Frühjahsperiode}$: [23]

$$\min E_{dyn,UG} = 2 \cong \min E_{V,1,UG} = 2 \cong \approx 35 = 70\ MN/m^2 \qquad (10)$$

5.1.4.2 Ungebundene Schichten

Die Untergrundtragfähigkeit der Straßenkonstruktion beeinflusst das Tragfähigkeitsverhalten der ungebunden Oberbauschichten maßgebend. Der Steifigkeitsmodul einer ungebundenen Schicht, die auf einer anderen derartigen Schicht aufliegt, kann den ca. 1,5- bis 2,5-fachen Wert des E-Moduls der unteren Schicht erreichen. Die infolge einer Belastung hervorgerufen Zugspannungen an der Unterseite einer Tragschicht, führen zu Auflockerungen des Materials, womit ein höherer E-Modul verhindert wird. Weitere Einflussfaktoren für die Tragfähigkeit stellen das verwendete Material und die Schichtdicke dar. Die E-Modulverhältnisse der Tragschichten, welche

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

den Bemessungstabellen lt. RVS 03.08.63:2016 zugrunde liegen, sind in Tabelle 12 dargestellt. [23]

Tabelle 12: E-Modulverhältnis für ungebundene Schichten [23]

Schicht 1	Schicht 2	Verhältnis der $E_{dyn,UG}$
30 cm ungebundene untere Tragschicht	Untergrund	2
ungeb. obere TS: 20 cm Rundkörnung	ungeb. untere TS	1,7
ungeb. obere TS: 20 cm Kantkörnung	ungeb. untere TS	1,9
ungeb. obere TS: ZGKK	ungeb. untere TS	2,5

Die Kombination der Tabelle 7 und der Tabelle 8 ergeben die E-Module der ungebundenen Schichten, welche in der Simulationsberechnung angesetzt sind.

Tabelle 13: E-Module der ungebundenen Schichten

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

5.1.4.3 Hydraulisch stabilisierte Schicht

Die Bautypen AS4 des Bemessungskatalog der RVS 03.08.63 besitzen eine hydraulisch stabilisierte obere Tragschicht (ST-Z, ST-T). (siehe Tabelle 7) Die Eigenschaften der Schicht müssen den Anforderungen der RVS 08.17.01 entsprechen. Für die rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen ist ein voller Schichtverbund zur bituminösen Schicht anzunehmen. Der E-Modul beträgt 5000 MN/m^2 und die Querdehnungszahl ist mit $\nu = 0{,}2$ festgelegt. [24]

5.1.4.4 Bituminös gebundene Schichten

Der temperaturabhängige Elastizitätsmodul der Bestandsasphaltschicht, sowie der Oberbauverstärkungsmaßnahme wird anhand des Wiener Modells der Rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen lt. RVS03.08.68 bestimmt.

Bemessungsmethode – Wiener Modell [24]

Die Bestimmung der temperatur- und belastungsdauerabhängigen Schichtsteifigkeit des Asphalts S_{mix} nach dem Wiener Modell kann abhängig vom Detailierungsgrad der Datengrundlage nach einer der drei Bemessungsstufen (Tabelle 14) erfolgen. In der Bemessungsstufe eins sind nur die volumetrischen Daten VMA und VFB des Mischgutes bekannt. Hierbei handelt es sich um den Hohlraumgehalt des Korngerüst (VMA) und den Auffüllungsgrad (VFB) des Asphaltmischguts. Für die Materialeigenschaften des Bitumens wird auf ein Modellbitumen zurückgegriffen. Anhand dieser volumetrischen Größen wird die Steifigkeit des Asphaltes mit den definierten Parameter a, b, c, d (siehe Tabelle 15) abgeschätzt. In der Bemessungsstufe zwei ist zusätzlich das Steifigkeitsverhalten des Bitumens bekannt (DSR-Prüfung nach ÖNORM EN 14770), wodurch die Steifigkeit des

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Mischgutes mittels Wiener Modell direkt berechnet wird. In der Bemessungsstufe drei wird die Eigenschaft des Modellasphalt durch Versuchsergebnisse (Prüfung der Steifigkeit am Vierpunktbiegebalken gemäß ÖNORM EN 12697-26 bei 20°C Asphalt) kalibriert.

Tabelle 14: Bemessungsstufen bei der Festlegung der Schichtsteifigkeit S_{mix} bei unterschiedlicher Datenverfügbarkeit [24]

Bemessungsstufe Steifigkeit	Volumetrische Zusammensetzung	|G*Bitumen| aus DSR-Bersuch (EN 14770)	Asphaltsteifigkeit Smin
1	Verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar
2	Verfügbar	Verfügbar	Nicht verfügbar
3	Verfügbar	Nicht verfügbar	Verfügbar

Die temperaturabhängige Schichtsteifigkeit S_{mix} wird folgend ermittelt:

$$S_{mix} = \frac{p}{145} * \left[a * \left(1 - \frac{VMA}{100}\right) + 435 * |G^*_{bit}|(T) * \left(\frac{VFB * VMA}{10000}\right)\right] + \frac{(1-p)}{145} * \left[\frac{1 - \frac{VMA}{100}}{a} + \frac{VMA}{VFB * 435 * |G^*_{bit}|(T)}\right]^{-1} \quad (11)$$

mit:

$$p = \frac{\left(b + \frac{VFB * 435 * |G^*_{bit}|(T)}{VMA}\right)^c}{d + \left(\frac{VFB * 435 * |G^*_{bit}|(T)}{VMA}\right)^c} \quad (12)$$

und:

S_{mix}	Temperaturabhängiger E-Modul des Asphalts [MN/m²]
$\|G^*_{bit}\|(T)$	Temperaturabhängiger Schubmodul des Bitumens [MN/m²]
VMA	Hohlraum des Korngerüsts des Asphaltmischgutes [%]
VFB	Auffüllungsgrad des Asphaltmischguts [%]
a, b, c, d	Parameter abhängig von der Art des Bitumens und des Vertrauensniveaus [-]

Die volumetrischen Kenngrößen können mit folgenden Formeln berechnet werden.

$$VMA = V_M + B * \frac{\rho_b}{\rho_B} \quad (13)$$

bzw.

$$VFB = B * \frac{\rho_b / \rho_B}{\rho_B} * 100 \quad (14)$$

mit:

B	Bindemittelgehalt[m-%] (auf 0,1 M-%)
ρ_m	Rohdichte des Mischgutes [Mg/m³]
ρ_b	Raumdichte des Probekörpers [Mg/m³]
ρ_B	Rohdichte des Bindemittels [Mg/m³]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

V_m Hohlraumgehalt [Vol.-%] (auf 0,1 Vol.-%)

$$V_m = \frac{\rho_b - \rho_B}{\rho_m} * 100 \tag{15}$$

Die Steifigkeit des Modellbitumens kann mit folgenden Möglichkeiten ermittelt werden: [24]

Ansatz 1:

$$|G^*_{bit}|(T) = \frac{1}{1000000} * e^{\left[y_o + \frac{m}{1+\left(\frac{T+237,15}{x_o}\right)^n}\right]} \tag{16}$$

Ansatz 2:

$$|G^*_{bit}|(T) = r * e^{(s*T)} \tag{17}$$

r, s Parameter für die Beschreibung des Steifigkeitsverlauf – Vertrauensniveau abhängig

Abbildung 19: Parameter r & s für Straßenbaubitumen lt. ÖNORM B3610

Vertrauensnivau	r	s
68%	102,76	-0,148
85%	99,91	-0,148
90%	98,68	-0,148
95%	96,85	-0,148

Im konkreten Fall der Simulationsberechnung basiert die Ermittlung der temperaturabhängigen Schichtsteifigkeit des Asphalts nach der ersten Bemessungsstufe. Hierbei wird auf ein Modellbitumen zurückgegriffen, dass durch temperatur- und frequenzabhängige Eigenschaften beschrieben wird.

Modellbitumen:

Die RVS 03.08.68 stellt für die Bemessung zwei Modellbitumen zur Verfügung:(i) auf Basis von Destillationsbitumen (gemäß ÖNORM B3610), (ii) und auf Basis von polymermodifizierten Bitumen (gemäß ÖNORM B3613). Für beide Bitumenarten sind die Parameter a, b, c und d festgelegt, welche in Abhängigkeit des Vertrauensniveaus, in die Ermittlung der Modellbitumensteifigkeit $|G^*_{bit}|(T)$ eingehen. Für die Simulationsberechnung wird ein Straßenbaubitumen mit einem Vertrauensniveau von 95% (üblich auf hochrangigen Straßen) gewählt. Dabei sind die Modellparameter (lt. Tabelle 15) heranzuziehen. [24]

Tabelle 15: Parameter a, b, c, d Straßenbaubitumen lt. ÖNORM B3610 [24]

Vertrauensniveau	a	b	c	d
95%	3.918.366	687,25	1,05	135.253

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Volumetrischen Kenngrößen

Die volumetrischen Kenngrößen des Mischgutes sind durch den Hohlraumgehalt des Korngerüstes [Vol.-%], sowie dem Auffüllungsgrad VFB bestimmt. Der VFB beschreibt den prozentualen Anteil der mit Bindemittel aufgefüllten Hohlräume des Korngerüst. Die Ermittlung erfolgt anhand der Formel (13) und (14) für die Bestandsasphaltschicht, sowie für die Oberbauverstärkung. Die Eingangsgrößen sind in den Tabelle 16 und Tabelle 17 definiert.

Tabelle 16: Volumetrische Daten Asphalt - Oberbauverstärkung

Oberbauverstärkung				
Volumetrisch Daten Asphalt				
Bindemittelgehalt B	4,40	oder	Hohlraum Korngerüst (VMA)	15,25
Hohlraumgehalt V_m	6,00		Auffüllungsgrad (VFB)	73,77
$_b$	2,42			
$_B$	1,00			
Bitumenart	B	[B oder pmB]		
Konfidenzintervall [%]	95	[50, 68, 80, 85, 90 oder 95]		

Tabelle 17: Volumetrische Daten Asphalt – restl. Deck- und Tragschicht

restl. Deck-und Tragschichte				
Volumetrisch Daten Asphalt				
Bindemittelgehalt B	4,30	oder	Hohlraum Korngerüst (VMA)	15,25
Hohlraumgehalt V_m	3,00		Auffüllungsgrad (VFB)	73,77
$_b$	2,47			
$_B$	1,00			
Bitumenart	B	[B oder pmB]		
Konfidenzintervall [%]	95	[50, 68, 80, 85, 90 oder 95]		

5.2 Methoden der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen

In diesem Unterabschnitt wird auf die Methoden der rechnerischen Dimensionierung für Asphaltstraßen eingegangen, welche in den Simulationsrechnungen Anwendung finden. Es wird die Bestimmung der Primärwirkung nach dem Mehrschichtentheorie von Burmister [27]vorgestellt sowie die Überführung des dreidimensionalen Spannungszustands mittels Festigkeitshypothese in einen eindimensionalen Vergleichsspannungszustand. Ebenso wird das Ermüdungskriterium für das Versagen einer Straßenkonstruktion erklärt. Zum Abschluss wird noch die Bestimmung der Wiederstandstandgrößen einer Straßenkonstruktion angeführt.

5.2.1 Bestimmung der maßgebenden Primärwirkungen

Die im Punkt 5.1 angeführten Einwirkungsgrößen rufen in einer Straßenbaukonstruktion Primärwirkungen hervor, die durch einen entsprechenden Spannungs- bzw. Dehnungszustand beschrieben werden können. Die Größe des Primärwirkungszustandes ist ausschlaggebend für die Beanspruchung, welche die Schädigung des Oberbaus verursacht. Einen maßgebenden Einfluss spielen dabei die Verkehrsbelastungen und die Temperatur. In der rechnerischen Dimensionierung von

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Asphaltstraßen gemäß RVS 03.08.68 wird die Mehrschichtentheorie nach Burmister zur Ermittlung dieser Primärwirkungen herangezogen. In dieser Theorie wird die Struktur des Oberbaus durch einen geschichteten, elastischen Halbraum modelliert. (siehe Abbildung 20) Dabei kann man in jeden Punkt des Halbraums die vorherrschenden Primärwirkungen (Spannungen: σ_1; σ_2; σ_3 und Dehnungen: ε_1; ε_2; ε_3) berechnen. Die Mehrschichtentheorie nach Burmister [27] berücksichtigt dabei folgende Annahmen: [23]

- das Materialverhalten ist linear–elastisch und isotrop,
- jede Schicht ist horizontal unendlich ausgedehnt,
- an den Schichtgrenzen gilt voller oder kein Verbund, und
- die Belastung wird über eine kreisförmige, schlaffe Lastfläche eingeleitet.

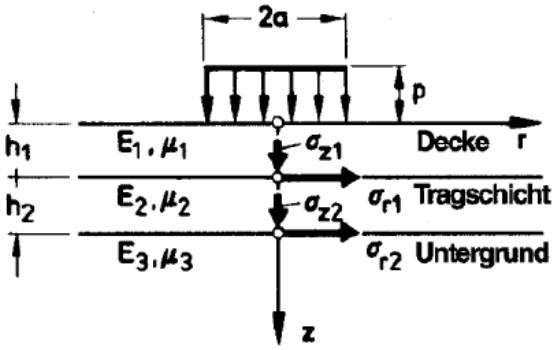


Abbildung 20: Struktur des Mehrschichtensystems [27]

In der Praxis wird der im Straßenkörper auftretende Spannungszustand mittels Mehrschichtenprogrammen berechnet, welche auf den Annahmen von Burmister [27] arbeiten.

5.2.2 Festigkeitshypothese [23]

Das Versagen rissbehafteter Baustoffe wird in der Bruchmechanik durch Festigkeitshypothesen charakterisiert. Dies erlaubt es die maßgebende Primärwirkung einer Grenzbetrachtung gegenüberzustellen. Kommt es zum Bruch bzw. Fließen oder tritt ein generelles Versagen des Baustoffes ein, so ist die Grenzbetrachtung überschritten. In der österreichischen Methode der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen ist die entsprechende Festigkeitshypothese das Vergleichsspannungskonzept. Dabei wird der maßgebliche, reale, dreidimensionale Spannungszustand, welcher an der Unterseite der bituminösen Asphaltschicht oder gegebenenfalls unter der hydraulisch gebundenen Tragschicht ermittelt wurde, in einen äquivalenten eindimensionalen Vergleichsspannungszustand σ_V transformiert. Somit ist eine direkte Gegenüberstellung von Vergleichsspannung und Grenzbetrachtung möglich.

Für die Bestimmung der Vergleichsspannungen wird die modifizierte Schubspannungshypothese nach Leon [28] angewandt, welche durch Hagemann [29] für Asphalte modifiziert wurde. Hierbei wird das Versagen des Baustoffs durch das Überschreiten der Zugfestigkeit (Trennbruch) bzw. der Schubfestigkeit (Gleitbruch) festgelegt.

Im Spannungs-Dehnungsdiagramm ist die Versagensgrenze durch die Leon'sche Parabel, welche die Mohr'schen Spannungskreise tangiert, abgebildet. Wie allgemein bekannt, stellen die Radien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

der Kreise die Hauptschubspannungen dar und umschließen alle möglichen Punkte, die durch beliebige Normalspannungen und die zugehörigen Schubspannungen definiert sind. Die Form der Parabel wird durch den Parameter c bestimmt, der das Verhältnis von Druck- zu Zugfestigkeit (σ_D/σ_C) beschreibt. Der Parameter c ist von der Temperatur an der Unterseite der Asphaltschicht (bzw. hydraulisch gebundener Tragschicht) abhängig. Er bestimmt die Art des Versagens.

$$c = \frac{\sigma_D}{\sigma_C} = \left(\frac{77{,}7749 - T}{32{,}8565}\right)^{1{,}923} \tag{18}$$

c: Parameter der Leon'schen Parabel [-]

σD: Druckfestigkeit

σC: Zugfestigkeit

T: Temperatur im maßgebenden Punkt [C°]

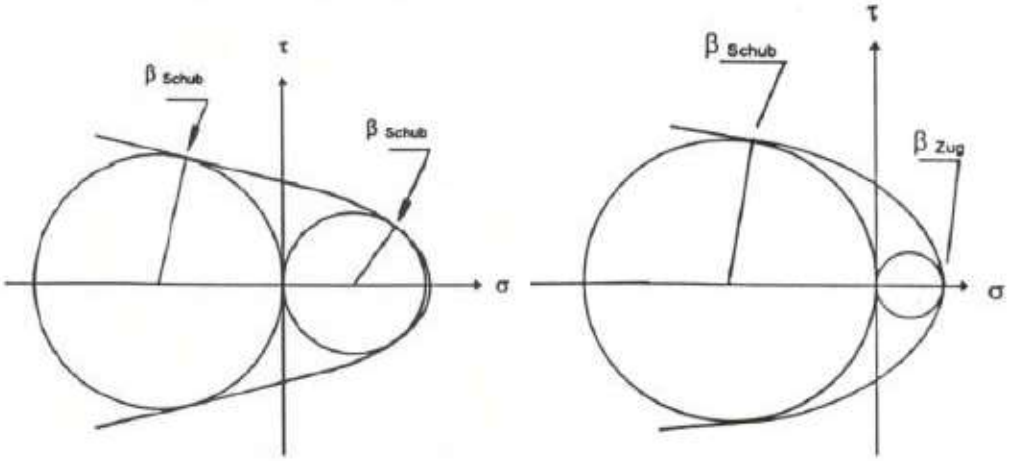


Abbildung 21: Leon'sche Parabel – links für Schubbruch ohne Möglichkeit des Trennbruchs (1≤c<3); rechts mit Möglichkeit des Trennbruchs (c≥3) [30]

Die Vergleichsspannung σv kann in Abhängigkeit von Parameter c und den Hauptnormalspannungen σ_1, σ_3 bestimmt werden:

- für 1 ≤ c < 3 (Schubbruch):

$$\sigma_v = \frac{c-1}{2*c} * (\sigma_1 + \sigma_3) + \sqrt{\frac{(c-1)^2}{4*c^2} * (\sigma_1 + \sigma_3)^2 + \frac{1}{c} * (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \tag{19}$$

- für c ≥ 3 (Trennbruch):

$$\sigma_v = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2*(p_c - 2)} + \sqrt{\frac{(\sigma_1 + \sigma_3)^2}{4*(p_c - 2)^2} - \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{4*p_c*(p_c - 2)}} \tag{20}$$

mit:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

$$p_c = 0{,}5 * \left[(c+2) - 2 * \sqrt{c+1}\right] \tag{21}$$

c temperaturabhängiger Parameter der Leon'schen Parabel

σ_v einachsiale Vergleichsspannung

$\sigma_1; \sigma_3$ Hauptnormalspannungen aus der Bestimmung der Primärwicklung mit der Mehrschichtentheorie [MN/m²]

5.2.3 Ermüdungskriterium [24]

In der Methode der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen wird das Versagen einer Straßenkonstruktion infolge Ermüdung angenommen. Allgemein wird unter dem Begriff der Ermüdung die kontinuierliche Abnahme der Steifigkeit des Asphaltes, durch wiederholte, dynamische Belastungen verstanden. Die dadurch entstehenden Beanspruchungen summieren sich bis zu dem Auftritt des ersten kumulativen Schadens. Aufgrund des viskoelastischen Baustoffverhaltens entsteht in der Grenzbeanspruchung jedoch kein schlagartiger Bruch. Darum gilt als Versagenskriterium von Asphalt, die Zunahme der Dehnung um 100% bzw. die Abnahme der Spannung um 50%. [23]

Diesbezüglich wurden Ermüdungskriterien in der RVS 03.08.68 definiert. Das Ermüdungskriterium beschreibt den Zusammenhang der Schädigung der Straßenkonstruktion und der auftretenden Verkehrsbelastung (als Anzahl an Lastwechseln). Somit ist die die bis zum Eintreten von Ermüdungsschäden maximal ertragbare Anzahl an Lastwechsel N_{zul} bestimmbar. Es wurde anhand der Eigenschaften von Asphaltprobekörper im Labor unter Belastung abgeleitet. Nachfolgend werden die Ermüdungskriterien für bituminöse Schichten sowie von hydraulisch gebundenen Schichten beschrieben.

Ermüdungskriterium für bituminöse Schichten:

$$N_{zul} = \frac{k_1(T)}{F(\varepsilon_6)} * \left(\frac{S_{mix}(T)}{\sigma_v}\right)^{k_2(T)} \tag{22}$$

mit:

$S_{mix}(T)$ Temperaturabhängiger E-Modul des Asphalts [MN/m²]

σ_v Vergleichsspannung gemäß Pkt. 5.2.2

$F(\varepsilon_6)$ Sicherheitsfaktor [-]

$k_1(T); k_2(T)$ temperaturabhängige Ermüdungsparameter [-]

Für $k_1(T)$ und $k_2(T)$ gilt:

$$k_1(T) = 10^{-(0{,}0077 * T^2 * 0{,}4859 * T + 17{,}602)} \tag{23}$$

und

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$k_2(T) = 0{,}0015 * T^2 - 0{,}0875 * T + 6{,}1803 \tag{24}$$

Die Temperatur T [C°] wird an der Unterseite der Asphaltschicht angenommen.

Der Sicherheitsfaktor $F(\varepsilon_6)$ ist abhängig vom GVO-Anforderungswert ε_6 (gemäß ÖNORM EN 12697-24 – Ermüdungsversuch am Vierpunktbiegebalken), der vom Hersteller gemäß ÖNORM EN 13108-20 auf Grundlage der Typprüfung zu deklarieren ist. Der Sicherheitsfaktor wird wie folgt bestimmt:

$$F(\varepsilon_6) = E_B * \frac{130}{\varepsilon_6} \tag{25}$$

Der Parameter E_B ist von der Art des Bitumens abhängig. Er beträgt für Straßenbaubitumen 11 und für polymermodifiziertes Bitumen 18,25 [-].

Ermüdungskriterium von hydraulisch gebundenen Schichten:

Laut den Untersuchungen von Leykauf, tritt das Ermüdungsversagen an der Unterseite der hydraulisch gebunden Schicht ein. Die zulässige Anzahl an Lastwechseln N_{zul} lassen sich wie folgt ermitteln:

$$N_{zul} = \left(0{,}395 * \frac{1}{\sigma_v}\right)^5 * 10^6 \tag{26}$$

mit:

σ_v Vergleichsspannung gemäß Pkt. 5.2.2

5.2.4 Dimensionierungsnachweis [24]

Angelehnt an die Ermittlung der Widerstandsgrößen der Rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen gemäß RVS 03.08.68 erfolgt die Berechnung der Widerstandsgrößen der unterschiedlichen Oberbaukombinationen für die Ausgleichschichtdickenbestimmung. Unter dem Widerstand einer Straßenkonstruktion wird die ertragbare Anzahl an Lastwechsel verstanden. Abweichend dem in RVS 03.08.68 beschriebenen Ansatz, wird als Verkehrsbelastung eine 100 kN Normalachse verwendet.

Ermittlung der Widerstandsgrößen lt. RVS 03.08.68

Die Schädigung C_{ijk} wird bestimmt durch:

$$C_{ijk} = \frac{1}{N_{ijk}} \tag{27}$$

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die gemittelte zulässige Anzahl an ertragbaren Lastwechsel ergibt sich durch Multiplikation mit dem Gewichtungsfaktoren p_k und p_j und Aufsummieren der Teilschädigungen der einzelnen Temperaturperioden.

$$C_{zul} = \sum_i \sum_k p_k * C_{ijk} \tag{28}$$

p_k Anteil der Temperaturperiode gemäß Tabelle 8

Der Anzahlt an zulässigen Lastwechsel ergibt sich aus:

$$N_{zul} = \frac{1}{C_{zul}} \tag{29}$$

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6 Beschreibung der Simulationsberechnungen

Das sechste Kapitel bildet den Hauptteil dieser Diplomarbeit. Es wird anhand von Simulationsberechnungen und unter zu Hilfenahme der Methoden der Rechnerischen Dimensionierung versucht, die Erweiterung des Anwendungsgebietes der RVS 03.08.64 auf die Lastklassen LK25 bis LK163 zu ermöglichen. Dabei werden alle Rechenschritte der durchgeführten Untersuchung verständlich an ausgewählten Beispielen erklärt.

6.1 Dimensionierungsnachweis

Arbeitsgrundlage stellt der Standardbemessungskatalog der RVS 03.08.63; 2016; Tabelle-8 dar. Davon werden die Aufbauten der Lastklassen LK25, LK42, LK83 und LK163 für die Bautypen AS1, AS2 und AS4 betrachtet.

Der erste Abschnitt der Simulationsberechnungen befasst sich mit den Dimensionierungsnachweisen für die maximal zulässige Anzahl an Lastwechseln der unterschiedlichen Oberbaukombinationen. Dafür wird die Ausgangstragfähigkeit der bestehenden Asphaltschicht variiert und unterschiedliche Dicken der maßgebenden Oberbauverstärkung bewertet. Der Dimensionierungsnachweis der betrachteten Lastklasse je Bautyp wird für 100% und 50% Ausgangstragfähigkeit der Bestandsschicht durchgeführt. Dabei erfolgt die Variation der Ausgangstragfähigkeit des Bestandsasphalts anhand der Änderung des Elastizitätsmoduls. Die Untersuchung der unterschiedlichen Oberbauverstärkungsdicken erfolgt für vier, sechs, sieben, acht und zehn Zentimeter Asphaltverstärkung. In der angeführten Simulationsberechnung wird angenommen, dass die bestehende bituminös gebunden Deck- und Tragschicht lt. den Bemessungstabellen um 4 cm Asphaltdicke verringert wird (Abfräsen der Deckschicht). Diese Annahme ist für eine Straßensanierungsmaßnahme üblich. Die ertragbare Anzahl der Lastwechsel wird im Zuge des Dimensionierungsnachweises für 4 cm und 10 cm Verstärkungsschicht bestimmt. Die maximal zulässigen Lastwechseln der Verstärkungsdicken werden im zweiten Teil der Simulationsrechnung durch lineare Interpolation von Trendlinien ermittelt.

Der große Datenumfang der Simulationsrechnung benötigt einen klaren Überblick über die Anzahl benötigter Dimensionierungsberechnungen. Zwölf Dimensionierungsnachweise sind pro Lastklasse für insgesamt vier Lastklassen (LK25, LK42, LK83, LK163) erforderlich. Das bedeutet, dass pro Bautyp (insgesamt drei Bautypen AS1, AS2, AS4) jeweils vier Dimensionierungsnachweise erforderlich sind. Jeder Bautyp wird mit einer Verstärkungsschichtdicke von 4 cm bzw. 10cm verstärkt. Für beide Verstärkungsschichtmaßnahmen wird ein Dimensionierungsnachweise mit 100% und 50% der Ausgangstragfähigkeit des Bestandsasphaltes simuliert. Diese Simulationen werden sowohl für die Temperaturzone I als auch für die Temperaturzone II durchgeführt. Insgesamt werden 1152 Simulation ausgewertet.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.1.1 Dimensionierungsnachweis für die LK25_AS1+ 4cm Oberbauverstärkung

Für die beispielhafte Beschreibung des Berechnungsablaufes des Dimensionierungsnachweises wird die Lastklasse LK25 mit einer Oberbauverstärkung von 4 cm für den Bautyp AS1 gewählt. Die Berechnung bezieht sich auf die Temperaturzone I.

Die Straßenkonstruktion (siehe Abbildung 22) setzt sich aus den Schichten des Untergrunds, der ungebunden unteren Tragschicht, der ungebunden oberen Tragschicht, der restlichen bituminösen Deck- und Tragschicht (Bestandsasphalt) und der Oberbauverstärkungsschicht zusammen. Jede Schicht wird durch die Parameter des E-Moduls, der Querdehnungszahl und der Schichtdicke beschrieben.

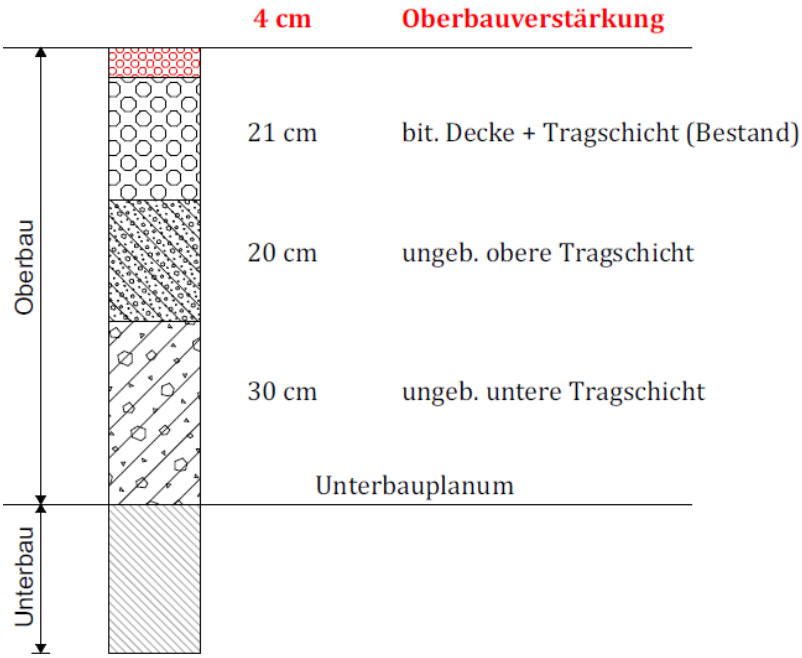


Abbildung 22: LK25_AS1 + 4cm Straßenkonstruktion

6.1.1.1 E-Modul, Querdehnungszahl, Schichtdicken

Ermittlung der bituminösen Schichtsteifigkeiten S_{mix}

Die temperaturabhängige Schichtsteifigkeit S_{mix} des Bestandasphalts, sowie der Verstärkungsschichtdicke wird durch die Annahmen (Pkt. 5.1.4.4), mittels Wiener Modell bestimmt.

- <u>Kenngröße des Bindemittels:</u>
  Hierfür wird die temperaturabhängige Steifigkeit des Modellbitumens $|G^*_{bit}|(T)$, nach dem Formelansatz-2 (Gleichung 13) näherungsweise beschrieben. Die Bitumensteifigkeit $|G^*_{bit}|(T)$) wird für jede Periode in Abhängigkeit der Schichttemperatur sowohl für die Bestandsasphaltschicht als auch für die Oberbauverstärkung berechnet (in Tabelle 20 & Tabelle 21 ersichtlich).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Volumetrische Kenngrößen:
  Die in Tabelle 20 & Tabelle 21 dargestellten volumetrischen Kenngrößen VMA bzw. VFB sind nach den Formeln (13) und (14) berechnet.

Infolge der Berechnung der volumetrischen Kenngrößen und der rheologischen Eigenschaften des Bindemittels (Steifigkeit des Modellbitumens $|G^*_{bit}|(T)$) wird unter Bezugnahme der Parameter a, b, c, d (lt. Tabelle 18 & Tabelle 19) die temperaturabhängigen E-Module S_{mix} der Bestandsasphaltschicht (Tabelle 20), wie auch der Oberbauverstärkung (Tabelle 21) bestimmt. Für die Berechnung der 50-prozentigen Ausgangstragfähigkeit der Bestandsasphaltschicht wird der E-Modul der 100-prozentigen Ausgangstragfähigkeit einfach halbiert.

Tabelle 18: Parameter a, b, c, d - Oberbauverstärkung [24]

Oberbauverstärkung			
Parameter-Wiener Modell für gewähltes Konfidenzintervall und Bitumenart:			
a	b	c	d
3918366	687,25	1,05	135252,8

Tabelle 19: Parameter a, b, c, d – Bestandsasphaltschicht [24]

restl. Deck-und Tragschichte			
Parameter-Wiener Modell für gewähltes Konfidenzintervall und Bitumenart:			
a	b	c	d
3918366	687,25	1,05	135252,8

Tabelle 20: E-Modul des Bestandasphalt S_{mix}

Modellasphalt - Wiener Modell						
restliche Deck- und Tragschichte						
Periode	Temperatur	G*bit [MPa]	VMA	VFB	pc	Smix [Mpa]
1	-3,8	169,96	15,25	73,77	0,835	19555,90
2	-3,4	160,19	15,25	73,77	0,827	19351,75
3	6,4	37,56	15,25	73,77	0,511	11978,11
4	12,4	15,46	15,25	73,77	0,294	6898,01
5	14,1	12,02	15,25	73,77	0,244	5711,93
6	17,5	7,27	15,25	73,77	0,162	3798,62
7	16,8	8,06	15,25	73,77	0,177	4142,62
8	19,4	5,48	15,25	73,77	0,127	2987,03
9	10,9	19,30	15,25	73,77	0,344	8060,76
10	14,3	11,67	15,25	73,77	0,238	5582,30
11	3,7	56,01	15,25	73,77	0,613	14367,99
12	5,3	44,20	15,25	73,77	0,554	12965,44

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 21: E-Modul des Oberbauverstärkung S_{mix}

Modellasphalt - Wiener Modell						
Oberbauverstärkung						
Periode	Temperatur	G*bit [MPa]	VMA	VFB	pc	Smix [Mpa]
1	-2,18	133,73	15,25	73,77	0,798	18677,25
2	-7,98	315,51	15,25	73,77	0,907	21233,73
3	0,7	87,32	15,25	73,77	0,716	16771,75
4	5,44	43,30	15,25	73,77	0,548	12840,43
5	20,42	4,72	15,25	73,77	0,112	2619,60
6	12,3	15,69	15,25	73,77	0,297	6972,31
7	30,44	1,07	15,25	73,77	0,032	739,37
8	8,6	27,12	15,25	73,77	0,427	10009,92
9	12,54	15,14	15,25	73,77	0,290	6794,81
10	7,6	31,45	15,25	73,77	0,465	10898,54
11	7,78	30,62	15,25	73,77	0,458	10737,49
12	0,84	85,53	15,25	73,77	0,712	16668,27

Mechanische Eigenschaften der übrigen Oberbauschichten

Die Annahmen der E-Module und Querdehnungszahlen des Untergrundes, der ungebundene oberen Tragschicht, der ungebundenen unteren Tragschicht sowie der hydraulisch gebunden Schicht können im Abschnitt Materialeigenschaften in Kapitel. 5.1.4 nachgelesen werden. In Tabelle 22 und Tabelle 23 sind alle E-Module, Querdehnungszahlen und Schichtdicken für die zwölf Temperaturperioden (Temperaturzone I) und eine Tragfähigkeit von 100% bzw. 50% der ursprünglichen Tragfähigkeit des Bestandasphalts ersichtlich.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 22: Oberbauaufbau LK25 + 4cm_100%_Tp1

Temperaturperiode:	1				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	18677	0,30	0,040	0	-2,2
rest. bit. Decke + Tragschichte	19556	0,30	0,210	0	-3,8
ungeb. obere TS	1064	0,30	0,20	0	
ungeb. untere TS	560	0,30	0,30	0	
Untergrund	280	0,30	0,00	0	

Temperaturperiode:	2				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	21234	0,30	0,040	0,00	-8,0
rest. bit. Decke + Tragschichte	19352	0,30	0,210	0,00	-3,4
ungeb. obere TS	1064	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	560	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	280	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	3				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	16772	0,30	0,040	0,00	0,7
rest. bit. Decke + Tragschichte	11978	0,30	0,210	0,00	6,4
ungeb. obere TS	266	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	140	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	70	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	4				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	12840	0,30	0,040	0,00	5,4
rest. bit. Decke + Tragschichte	6898	0,30	0,210	0,00	12,4
ungeb. obere TS	266	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	140	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	70	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	5				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	2620	0,30	0,040	0,00	20,4
rest. bit. Decke + Tragschichte	5712	0,30	0,210	0,00	14,1
ungeb. obere TS	380	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	200	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	100	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	6				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	6972	0,30	0,040	0,00	12,3
rest. bit. Decke + Tragschichte	3799	0,30	0,210	0,00	17,5
ungeb. obere TS	380	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	200	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	100	0,30	0,00	0,00	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Temperaturperiode:	7				
	E-Modul [MPa]	nu	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	739	0,30	0,040	0,00	30,4
rest. bit. Decke + Tragschichte	4143	0,30	0,210	0,00	16,8
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	8				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	10010	0,30	0,040	0,00	8,6
rest. bit. Decke + Tragschichte	2987	0,30	0,210	0,00	19,4
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	9				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	6795	0,30	0,040	0,00	12,5
rest. bit. Decke + Tragschichte	8061	0,30	0,210	0,00	10,9
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	10				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	10899	0,30	0,040	0,00	7,6
rest. bit. Decke + Tragschichte	5582	0,30	0,210	0,00	14,3
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	11				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	10737	0,30	0,040	0,00	7,8
rest. bit. Decke + Tragschichte	14368	0,30	0,210	0,00	3,7
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	12				
	E-Modul [MPa]	ν	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	16668	0,30	0,040	0,00	0,8
rest. bit. Decke + Tragschichte	12965	0,30	0,210	0,00	5,3
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 23: Oberbauaufbau LK25+ 4cm_50%_Tp1

Temperaturperiode:	1				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	18677	0,30	0,040	0	-2,2
rest. bit. Decke + Tragschichte	9778	0,30	0,210	0	-3,8
ungeb. obere TS	1064	0,30	0,200	0	
ungeb. untere TS	560	0,30	0,300	0	
Untergrund	280	0,30	0,000	0	

Temperaturperiode:	2				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	21234	0,30	0,040	0,00	-8,0
rest. bit. Decke + Tragschichte	9676	0,30	0,210	0,00	-3,4
ungeb. obere TS	1064	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	560	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	280	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	3				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	16772	0,30	0,040	0,00	0,7
rest. bit. Decke + Tragschichte	5989	0,30	0,210	0,00	6,4
ungeb. obere TS	266	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	140	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	70	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	4				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	12840	0,30	0,040	0,00	5,4
rest. bit. Decke + Tragschichte	3449	0,30	0,210	0,00	12,4
ungeb. obere TS	266	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	140	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	70	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	5				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	2620	0,30	0,040	0,00	20,4
rest. bit. Decke + Tragschichte	2856	0,30	0,210	0,00	14,1
ungeb. obere TS	380	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	200	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	100	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	6				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	6972	0,30	0,040	0,00	12,3
rest. bit. Decke + Tragschichte	1899	0,30	0,210	0,00	17,5
ungeb. obere TS	380	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	200	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	100	0,30	0,00	0,00	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 23: Oberbauaufbau LK25+ 4cm_50%_Tp1

Temperaturperiode:	7				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	739	0,30	0,040	0,00	30,4
rest. bit. Decke + Tragschichte	2071	0,30	0,210	0,00	16,8
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	8				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	10010	0,30	0,040	0,00	8,6
rest. bit. Decke + Tragschichte	1494	0,30	0,210	0,00	19,4
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	9				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	6795	0,30	0,040	0,00	12,5
rest. bit. Decke + Tragschichte	4030	0,30	0,210	0,00	10,9
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	10				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	10899	0,30	0,040	0,00	7,6
rest. bit. Decke + Tragschichte	2791	0,30	0,210	0,00	14,3
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	11				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	10737	0,30	0,040	0,00	7,8
rest. bit. Decke + Tragschichte	7184	0,30	0,210	0,00	3,7
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Temperaturperiode:	12				
	E-Modul [MPa]	v	Schichthöhe [m]	Spring Compliance [m³/MN]	Temperatur [°C]
Oberbauverstärkung	16668	0,30	0,040	0,00	0,8
rest. bit. Decke + Tragschichte	6483	0,30	0,210	0,00	5,3
ungeb. obere TS	532	0,30	0,20	0,00	
ungeb. untere TS	280	0,30	0,30	0,00	
Untergrund	140	0,30	0,00	0,00	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.1.1.2 Bestimmung der maßgeblichen Primerwirkung

Ermittlung des dreidimensionalen Spannungszustandes

Infolge der Verkehrsbelastung (Pkt. 5.1.1) und den Schichteigenschaften des untersuchten Aufbaus (siehe Kapitel 6.1.1.1), wird der dreidimensionale Spannungszustand unter zu Hilfenahme der in Kapitel (5.2.1) beschriebenen Mehrschichtentheorie nach Burmister an der maßgebenden Stelle bestimmt. Die Spannungsermittlungen erfolgte für alle Berechnungen der Bautypen AS1 und AS2 an der Unterseite der bituminös gebunden Asphalttragschicht. In der Bautypklasse AS4 wurden die Spannungen an der Unterseite der hydraulisch stabilisierten Tragschicht bestimmt.

Aufgrund der Vielzahl an Rechnungs- bzw. Wiederholungsschritte erfolgte die Ermittlung des dreidimensionalen Spannungszustandes unter der zu Hilfenahme eines Mehrschichtentheorie Rechenprogramms. Die Programmoberfläche ist in Abbildung 23 ersichtlich. Für die Dimensionierungsnachweise für den untersuchten Aufbau (LK25, Bautyp AS1 + 4 cm Oberbauverstärkung, Temperaturzone I) sind 24 Spannungsberechnungen erforderlich zur Berücksichtigung der (12 Temperaturperioden mit jeweils 100% und 50% Tragfähigkeit der Bestandsasphaltschicht).

In Zuge der Simulationsberechnungen für die zukünftigen Ausgleichsschichtdicken in Abhängigkeit von der Resttragfähigkeit wurden insgesamt 1152 Spannungsberechnungen durchgeführt.

Beschreibung des Berechnungsablaufes mit dem MST-Tool

Im Registerblatt Input werden alle für die Berechnung notwendigen Eingabewerte eingegeben. Als ersteres erfolgen die Eingabe des vertikalen Kontaktdruckes (vertical stress) von 700 kPa und der vertikalen Belastung (vertical laod) von 50 kN. Die X, Y, Z Koordinaten (X, Y, Z coordinate) werden mit 0,00 m angenommen, da die gesuchte Stelle der Spannung im betrachteten Punkt liegt. Die weiteren Eingaben betreffen die Schichtdicken [cm] (thickness), die dazugehörigen E-Module [kN] (moduls of elasticity) und die Querdehnungszahlen [-] (poisson's ratio). Der Schichtverbund [m^3/N] (spring compiliance) wird mit 0,00 m^3/N angenommen. Im letzten Schritt wird die Position definiert, an der man den gewünschten dreidimensionalen Spannungszustand berechnen möchte.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

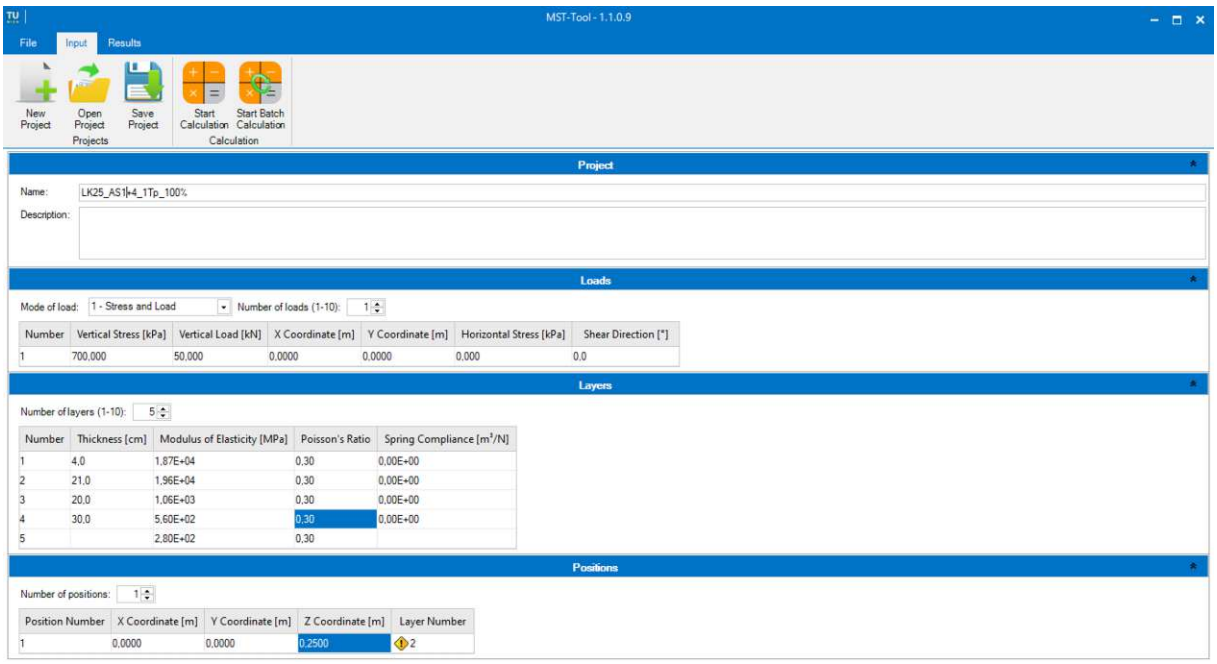


Abbildung 23: Mehrschichten Tool (MST -Tool) TU Wien

Unter dem Registerblatt „Results“ werden die Ergebnisse der Spannungsberechnung in Pdf- bzw. Excelform ausgegeben. In Tabelle 24 ist als Anschauungsbeispiel das Ergebnis der Spannungsberechnung für den Aufbau Der Lastklasse25, Bautyp AS1 einer Oberbauverstärkungsschichtdicke von 4 cm, 100% Tragfähigkeit der Bestandasphalts und Temperaturzone 1 ersichtlich.

Tabelle 24: MST -Tool Ergebnis LK25_AS1+4_100%_T1

Structure					Loads								
Layer Number	Thickness [cm]	Modulus of Elasticity [MPa]	Poisson's Ratio	Shear Spring Compliance [m³/N]	Load Number	Vertical Load [kN]	Vertical Stress [kPa]	Horizontal (Shear) Load [kN]	Horizontal (Shear) Stress [kPa]	Radius [m]	X-Coord. [m]	Y-Coord. [m]	Shear Angle [°]
1	4,00	1,868E+04	0,30	0,000E+00	1	5,000E+01	7,000E+02	0,000E+00	0,000E+00	1,508E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	21,00	1,956E+04	0,30	0,000E+00									
3	20,00	1,064E+03	0,30	0,000E+00									
4	30,00	5,600E+02	0,30	0,000E+00									
5	0,00	2,800E+02	0,30	0,000E+00									

Results													
Position Number	Layer Number	X-Coord. [m]	Y-Coord. [m]	Depth [cm]	Stresses			Strains			Displacements		
					XX [kPa]	YY [kPa]	ZZ [kPa]	XX µstrain	YY µstrain	ZZ µstrain	UX [m]	UY [m]	UZ [m]
1	2	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	6,90E+02	6,90E+02	-6,39E+01	2,57E-02	2,57E-02	-2,44E-02	0,00E+00	0,00E+00	8,32E-05

Die Gesamten simulierten Hauptspannung der in diesem Kapitel beschriebenen Aufbauten sind in der Tabelle 26 ersichtlich.

Ermittlung der Vergleichsspannungen

Für die Berechnung der Vergleichsspannung σ_v wird die modifizierte Schubspannungshypothese nach LEON herangezogen. (siehe Pkt. 5.2.2) Hierbei wird der dreidimensionale Spannungszustand in einen äquivalenten einaxialen Vergleichsspannungszustand überführt. Es wird für jede Periode der temperaturabhängigen Parameter c, der die Versagensart beschreibt, lt. Formel (18)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

bestimmt. Die Vergleichsspannung σ_v wird in Abhängigkeit des Parameters c und den Hauptnormalspannungen σ_1 und σ_3 nach den Formeln (19) oder (20) berechnet. Die Vergleichsspannungen der untersuchten Aufbauten sind in Tabelle 26 ersichtlich.

Tabelle 25: Parameter für die Vergleichsspannungsermittlung LK25_AS1+4_100%_T1

	Periode	T [c°]	c	pc
4 cm	1	-3,8	5,09	1,08
	2	-3,4	5,04	1,06
	3	6,4	3,87	0,73
	4	12,4	3,22	0,56
	5	14,1	3,05	0,51
	6	17,5	2,72	0,43
	7	16,8	2,79	0,45
	8	19,4	2,54	0,39
	9	10,9	3,38	0,60
	10	14,3	3,03	0,51
	11	3,7	4,17	0,81
	12	5,3	3,99	0,76

Tabelle 26: Hauptnormalspannungen- und die resultierende Vergleichsspannungen der LK25_AS1+4_100%_T1

	Smix(T) - 100%				Smix(T) - 50%			
	Hauptnormalspannungen [MN/m²]			Vergleichss.	Hauptnormalspannungen [MN/m²]			Vergleichss.
	σ1	σ2	σ3	σv	σ1	σ2	σ3	σv
4 cm	0,69	0,69	-0,0639	0,169	0,477	0,477	-0,0887	0,143
	0,679	0,679	-0,063	0,168	0,47	0,47	-0,0875	0,142
	0,886	0,886	-0,0326	0,248	0,674	0,674	-0,0468	0,202
	0,733	0,733	-0,0456	0,257	0,536	0,536	-0,0648	0,210
	0,671	0,671	-0,0793	0,275	0,447	0,447	-0,11	0,225
	0,5	0,5	-0,0848	0,509	0,317	0,317	-0,115	0,334
	0,494	0,494	-0,123	0,507	0,283	0,283	-0,165	0,309
	0,345	0,345	-0,109	0,365	0,188	0,188	-0,143	0,222
	0,644	0,644	-0,0735	0,238	0,432	0,432	-0,101	0,196
	0,51	0,51	-0,0816	0,225	0,327	0,327	-0,111	0,189
	0,811	0,811	-0,0514	0,223	0,585	0,585	-0,0727	0,183
	0,744	0,744	-0,0506	0,216	0,536	0,536	-0,0713	0,177

6.1.2 Ermüdung

Dank der ermittelten Vergleichsspannung für die unterschiedlichen Temperaturperioden wird die Anzahl der zulässigen Lastwechsel je Periode unter Anwendung des Ermüdungskriterium (siehe Pkt. 5.2.3) bestimmt. Dies erfolgt für die Aufbauten mit 100% und 50% Resttragfähigkeit des Bestandsasphalts. Die Ermüdungsfaktoren k_1 (T) und k_2(T), abhängig von der Temperatur unter der Asphaltschicht, wird laut den Formeln (23) & (24) berechnet. Die Parameter abhängig von der Bitumenart beziehen sich auf ein Straßenbaubitumen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 27: zulässige Lastwechsel je Temperaturperiode LK25_AS1+4_100%_T1

Bitumenart									
Straßenbaubitumen		E_B	11	[Mpa]					
GVO-Anforderungswert		ε_6	130	[µm/m]					
Sicherheitsfaktor		F (ε_6)	11,00	[-]				zulässige Lastwechsel	
Periode	T[°C]	k_1 (T°C) [-]	k_2 (T°C) [-]	Smix(T) - 100%	σv - 100% [MN/m²]	Smix(T) - 50%	σv - 50% [MN/m²]	Nijk - 100%	Nijk - 50%
1	-3,80	2,76E-20	6,534	19556	0,169	9778	0,143	3,09E+12	9,91E+10
2	-3,40	4,54E-20	6,495	19352	0,168	9676	0,142	3,13E+12	1,03E+11
3	6,40	1,56E-15	5,682	11978	0,248	5989	0,202	5,79E+10	3,63E+09
4	12,40	1,73E-13	5,326	6898	0,257	3449	0,210	6,06E+09	4,50E+08
5	14,10	5,23E-13	5,245	5712	0,275	2856	0,225	2,11E+09	1,57E+08
6	17,50	3,49E-12	5,108	3799	0,509	1899	0,334	1,92E+07	4,86E+06
7	16,80	2,44E-12	5,134	4143	0,507	2071	0,309	2,69E+07	9,78E+06
8	19,40	8,44E-12	5,047	2987	0,365	1494	0,222	4,30E+07	1,62E+07
9	10,90	6,02E-14	5,405	8061	0,238	4030	0,196	1,65E+10	1,11E+09
10	14,30	5,91E-13	5,236	5582	0,225	2791	0,189	5,44E+09	3,58E+08
11	3,70	1,23E-16	5,877	14368	0,223	7184	0,183	2,04E+11	1,13E+10
12	5,30	5,71E-16	5,759	12965	0,216	6483	0,177	1,72E+11	9,91E+09

6.1.3 Dimensionierungsnachweis

Auf Basis der in Punkt (5.2.4) angegebenen Formel wird für jede Temperaturperiode, die zugehörige Teilschädigung ermittelt, die mittels Gewichtungsfaktor p_k zur Gesamtschädigung C_{zul} gewichtet und aufsummiert werden. Die ertragbare Anzahl an Lastwechseln N_{zul} der LK25_AS1+4_100%_T1 für die Resttragfähigkeiten 100% und 50% ergeben sich aus den Kehrwerten der aufsummierten Teilschädigungen.

Tabelle 28: Dimensionierungsnachweis – Ermittlung der max. ertragbaren Lastwechsel LK25_AS1+4_100%_T1

						Teilschädigungen gewichtet	
Periode	pk	σv - 100%	σv - 50%	Nijk - 100%	Nijk - 50%	Cijk - 100%	Cijk - 50%
1	0,16	0,16875	0,14283	3,09E+12	9,91E+10	5,18E-14	1,61E-12
2	0,08	0,16764	0,14192	3,13E+12	1,03E+11	2,55E-14	7,80E-13
3	0,11	0,24814	0,20201	5,79E+10	3,63E+09	1,90E-12	3,03E-11
4	0,06	0,25731	0,20964	6,06E+09	4,50E+08	9,90E-12	1,33E-10
5	0,06	0,27458	0,22521	2,11E+09	1,57E+08	2,84E-11	3,81E-10
6	0,03	0,50941	0,33351	1,92E+07	4,86E+06	1,56E-09	6,18E-09
7	0,17	0,50724	0,30889	2,69E+07	9,78E+06	6,32E-09	1,74E-08
8	0,08	0,36519	0,22170	4,30E+07	1,62E+07	1,86E-09	4,95E-09
9	0,05	0,23838	0,19630	1,65E+10	1,11E+09	3,03E-12	4,50E-11
10	0,03	0,22543	0,18947	5,44E+09	3,58E+08	5,52E-12	8,37E-11
11	0,11	0,22333	0,18258	2,04E+11	1,13E+10	5,40E-13	9,72E-12
12	0,06	0,21584	0,17708	1,72E+11	9,91E+09	3,50E-13	6,06E-12
					C_{zul}	9,79E-09	2,92E-08
					N_{zul}	**1,02E+08**	**3,42E+07**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6.2 Dimensionierungsnachweise für weitere Aufbauvarianten

Der in Kapitel 6.1.1 dargestellte Ablauf lässt sich auf alle untersuchten Aufbauvarianten anwenden. Aufgrund der analogen Berechnungsabfolge sind für die aufbauenden Berechnungsschritte nur die Endergebnisse der übrigen Dimensionierungsnachweise dargestellt. Die ertragbare Anzahl an Lastwechseln N_{zul} des Bautyps AS1 für die unterschiedlichen Lastklassen bzw. Temperaturperioden ist in Abbildung 24 und Abbildung 25 ersichtlich. Für die Ergebnisse der Bautypklassen AS2 und AS3 wird auf den Anhang verwiesen.

6.3 Ausgleichschichtdicke D_A

Der zweite Teil der Simulationsberechnung widmet sich der Ermittlung der notwendigen Ausgleichschichtdicke D_A für die Vergleichsmethode in RVS 03.08.64. Dazu werden für alle Bautypklassen plus Oberbauverstärkung (AS1+4, AS1+10, AS2+4, AS2+10, AS4+4, AS4+10) sowohl für Temperaturperiode I wie auch für Temperaturperiode II Trendlinien erstellt. Durch die gewonnenen Parameter der Trendlinie wird mit Hilfe von exponentiellen Funktionsgleichungen versucht, die ertragbare Anzahl an Lastwechseln der untersuchten Verstärkungsvarianten abzuschätzen. Anhand dieser Daten wird unter Berücksichtigung der Resttragfähigkeit auf die erforderliche Ausgleichschichtdicke D_A geschlossen.

6.3.1 Ermittlung der Ausgleichschichtdicke für Bautyp AS1 (Tp I)

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Vorgehensweise für die Ermittlung der Ausgleichschichtdicke, anhand des Bautyps AS1 (Temperaturzone I) beschrieben.

6.3.1.1 Trendlinien

In diesem Unterkapitel wird auf die Erstellung von Trendlinien eingegangen. Konkret wird es am Beispiel der Bautypklasse AS1+4 bzw. AS1+10 in der Temperaturzone I gezeigt. Für die Erstellung des Trendliniendiagramms wird das Programm Microsoft Excel verwendet. Hierbei stellt die Ordinate die maximal ertragbare Anzahl an Lastwechseln für unterschiedliche Gesamtdicken der bituminösen Schichten (abhängig von der Lastklasse) und Temperaturperioden bzw. Resttragfähigkeit des Bestandsasphalts dar. Die Skalierung erfolgt im halblogarithmischen Maßstab. Auf der Abszisse wird die Dicke des Bestandsasphalts (ohne Oberbauverstärkung) für die verschieden Lastklassen desselben Bautyps eingetragen. Die Dicke wird in Zentimeter angegeben. Im Trendliniendiagramm (Abbildung 24 & Abbildung 25) ergeben sich somit, für Aufbauten mit einer Resttragfähigkeit von 100%bzw. 50%, je vier Ergebnispunkte. Mittels dieser vier Punkte wird jeweils eine Trendlinie erstellt. Aufgrund der logarithmischen Skalierung der Ordinate wird eine exponentielle Trendlinienform gewählt, welche somit linear dargestellt werden kann. Jede Trendlinie wird durch die exponentielle Funktionsgleichung $y(x) = a * e^{b*x}$ und das Bestimmtheitsmaß R^2 beschrieben. Das Bestimmtheitsmaß drückt den linearen Zusammenhang zwischen den X- und Y-Werten aus. Ein $R^2 = 1$ bedeutet, dass zwischen X und Y ein perfekter linearer Zusammenhang

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

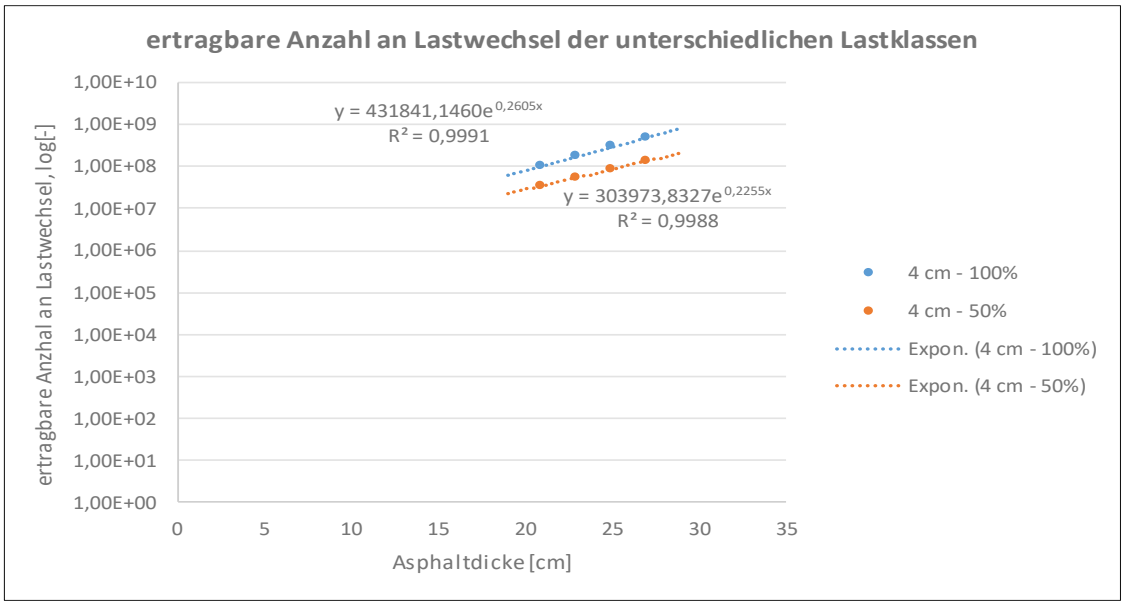
besteht. Die Parameter a und b der Funktionsgleichung sind in der Abbildung 24 und Abbildung 25 ersichtlich.

Bautyp:	**AS1 + 4**

Temperaturzone:	**I**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS1+4	21	1,02E+08
LK42_AS1+4	23	1,72E+08
LK82_AS1+4	25	2,98E+08
LK163_AS1+4	27	4,83E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS1+4	21	3,42E+07
LK42_AS1+4	23	5,47E+07
LK82_AS1+4	25	8,71E+07
LK163_AS1+4	27	1,32E+08



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	431841,15	0,2605
Struktur 50%	303974,83	0,2255

Abbildung 24: Trendlinie_AS1+4_Tp1

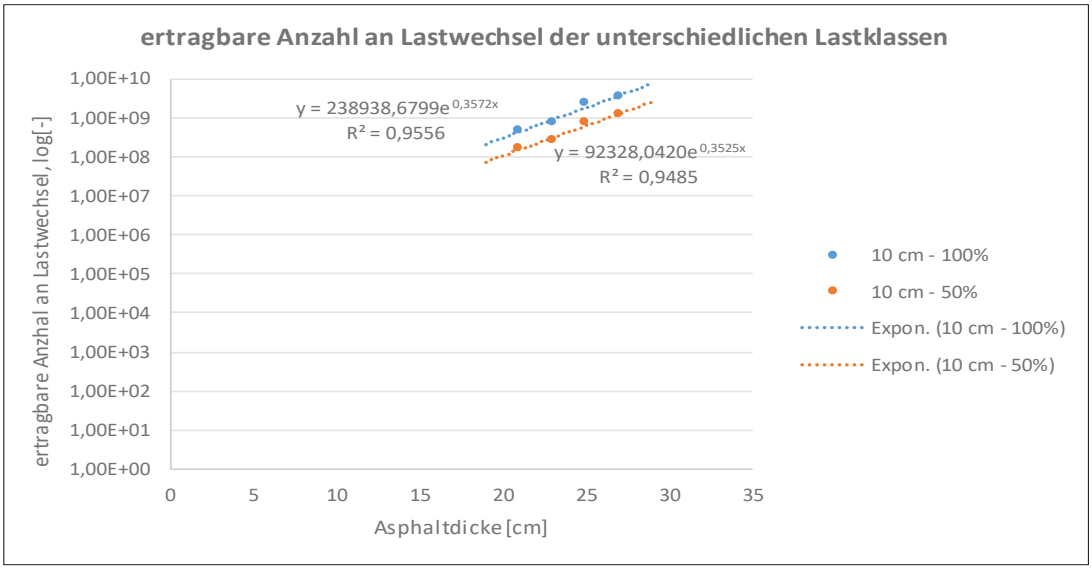
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bautyp:	**AS1 + 10**

Temperaturzone:	**I**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS1+10	21	4,56E+08
LK42_AS1+10	23	7,36E+08
LK82_AS1+10	25	2,23E+09
LK163_AS1+10	27	3,41E+09

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS1+10	21	1,61E+08
LK42_AS1+10	23	2,50E+08
LK82_AS1+10	25	7,75E+08
LK163_AS1+10	27	1,16E+09



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	238938,68	0,3572
Struktur 50%	92328,04	0,3525

Abbildung 25: Trendlinie_AS1+10_Tp1

6.3.1.2 Bestimmung von N_{zul} mittels Funktionsgleichung für Aufbauten des Bautyps AS1 (Temperaturzone I)

Die gewonnen Parameter a und b (Tabelle 29) der Trendlinie des Bautyps AS1 ermöglichen unter Verwendung der exponentiellen Funktionsgleichung $y(x) = a * e^{b*x}$ alle Punkt der Trendlinie zu abzuschätzen. Die mittels der Funktionsgleichung bestimmte maximal ertragbare Anzahl an Lastwechseln N_{zul} für Aufbauten jeder Lastklasse des Bautyp AS1 mit Verstärkungsschichtdicken von 4 cm bzw. 10 cm sind in Tabelle 30 ersichtlich. Die Variable x der Funktionsgleichung steht für die Bestandsasphaltdicke. Die in Tabelle 30 angegebenen Werte sind durch die entsprechende

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Funktionsgleichung angenäherte Werte, weshalb sie sich von den Lastwechsel N_{zul} des Dimensionierungsnachweis unterscheiden.

Tabelle 29: Parameter a & b der Trendlinien Bautyp AS1

Temperaturzone I			
Trennline "exponentiell"		y = a*e^(b*x)	
AS1	Struktur	a	b
"+4cm"	100%	431841,15	0,2605
	50%	303974,83	0,2255
"+10cm"	100%	238938,68	0,3572
	50%	92328,04	0,3525

Tabelle 30: N_{zul} bestimmt durch Funktionsgleichung

y = a*e^(b*x)		Asphaltdicke x -4 [cm]			
		LK163	LK83	LK42	LK25
AS1	Struktur	27	25	23	21
"+4cm"	100%	4,90E+08	2,91E+08	1,73E+08	1,03E+08
	50%	1,34E+08	8,53E+07	5,44E+07	3,46E+07
"+10cm"	100%	3,69E+09	1,81E+09	8,84E+08	4,33E+08
	50%	1,26E+09	6,20E+08	3,06E+08	1,51E+08

Im nächsten Schritt wird die maximal ertragbare Anzahl an Lastwechseln N_{zul} in Abhängigkeit der Resttragfähigkeit für Aufbauten des Bautyps AS1 mit 4 cm Verstärkungsschichtdicke durch lineare Interpolation ermittelt (siehe Tabelle 31). Dasselbe Prozedere wird auch für Aufbauten des Bautyps AS1 und 10 cm Verstärkungsschichtdicke durchgeführt (siehe Tabelle 35).

Die maximal ertragbare Anzahl an Lastwechseln N_{zul} für die Verstärkungsschichtdicke 6, 7 und 8 cm (Tabelle 32/Tabelle 33/Tabelle 35) sind das Resultat dieser linearen Interpolation.

Tabelle 31: N_{zul} abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (4cm) und Resttragfähigkeit

		LK163	LK83	LK42	LK25
4 cm	100%	4,90E+08	2,91E+08	1,73E+08	1,03E+08
	95%	4,54E+08	2,70E+08	1,61E+08	9,58E+07
	90%	4,19E+08	2,50E+08	1,49E+08	8,90E+07
	85%	3,83E+08	2,29E+08	1,37E+08	8,22E+07
	80%	3,47E+08	2,09E+08	1,25E+08	7,54E+07
	75%	3,12E+08	1,88E+08	1,14E+08	6,86E+07
	70%	2,76E+08	1,68E+08	1,02E+08	6,18E+07
	65%	2,41E+08	1,47E+08	8,99E+07	5,50E+07
	60%	2,05E+08	1,26E+08	7,80E+07	4,82E+07
	55%	1,70E+08	1,06E+08	6,62E+07	4,14E+07
	50%	1,34E+08	8,53E+07	5,44E+07	3,46E+07

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Tabelle 32: N_{zul} abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (6cm) und Resttragfähigkeit

		LK163	LK83	LK42	LK25
6 cm	100%	9,60E+08	5,35E+08	2,98E+08	1,66E+08
	95%	8,92E+08	4,98E+08	2,78E+08	1,55E+08
	90%	8,25E+08	4,61E+08	2,57E+08	1,44E+08
	85%	7,57E+08	4,24E+08	2,37E+08	1,33E+08
	80%	6,89E+08	3,87E+08	2,17E+08	1,22E+08
	75%	6,22E+08	3,50E+08	1,97E+08	1,11E+08
	70%	5,54E+08	3,13E+08	1,77E+08	1,00E+08
	65%	4,86E+08	2,76E+08	1,57E+08	8,94E+07
	60%	4,18E+08	2,39E+08	1,37E+08	7,85E+07
	55%	3,51E+08	2,02E+08	1,17E+08	6,75E+07
	50%	2,82E+08	1,65E+08	9,68E+07	5,66E+07

Tabelle 33: N_{zul} abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (7cm) und Resttragfähigkeit

		LK163	LK83	LK42	LK25
7 cm	100%	1,34E+09	7,25E+08	3,91E+08	2,11E+08
	95%	1,25E+09	6,75E+08	3,65E+08	1,97E+08
	90%	1,16E+09	6,26E+08	3,38E+08	1,83E+08
	85%	1,06E+09	5,76E+08	3,12E+08	1,69E+08
	80%	9,71E+08	5,27E+08	2,86E+08	1,55E+08
	75%	8,78E+08	4,78E+08	2,60E+08	1,42E+08
	70%	7,85E+08	4,28E+08	2,34E+08	1,28E+08
	65%	6,91E+08	3,79E+08	2,08E+08	1,14E+08
	60%	5,98E+08	3,29E+08	1,81E+08	1,00E+08
	55%	5,04E+08	2,80E+08	1,55E+08	8,62E+07
	50%	4,10E+08	2,30E+08	1,29E+08	7,24E+07

Tabelle 34: N_{zul} abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (8cm) und Resttragfähigkeit

		LK163	LK83	LK42	LK25
8 cm	100%	1,88E+09	9,82E+08	5,13E+08	2,68E+08
	95%	1,75E+09	9,16E+08	4,79E+08	2,50E+08
	90%	1,62E+09	8,50E+08	4,45E+08	2,33E+08
	85%	1,50E+09	7,84E+08	4,11E+08	2,15E+08
	80%	1,37E+09	7,18E+08	3,77E+08	1,98E+08
	75%	1,24E+09	6,52E+08	3,43E+08	1,80E+08
	70%	1,11E+09	5,85E+08	3,09E+08	1,63E+08
	65%	9,83E+08	5,19E+08	2,74E+08	1,45E+08
	60%	8,54E+08	4,53E+08	2,40E+08	1,28E+08
	55%	7,25E+08	3,87E+08	2,06E+08	1,10E+08
	50%	5,95E+08	3,20E+08	1,72E+08	9,26E+07

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Tabelle 35: N_{zul} abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (10cm) und Resttragfähigkeit

		LK163	LK83	LK42	LK25
10 cm	100%	3,69E+09	1,81E+09	8,84E+08	4,33E+08
	95%	3,44E+09	1,69E+09	8,26E+08	4,04E+08
	90%	3,20E+09	1,57E+09	7,68E+08	3,76E+08
	85%	2,96E+09	1,45E+09	7,10E+08	3,48E+08
	80%	2,71E+09	1,33E+09	6,53E+08	3,20E+08
	75%	2,47E+09	1,21E+09	5,95E+08	2,92E+08
	70%	2,23E+09	1,09E+09	5,37E+08	2,64E+08
	65%	1,99E+09	9,76E+08	4,80E+08	2,36E+08
	60%	1,74E+09	8,57E+08	4,22E+08	2,08E+08
	55%	1,50E+09	7,39E+08	3,64E+08	1,80E+08
	50%	1,26E+09	6,20E+08	3,06E+08	1,51E+08

6.3.1.3 Überprüfen der Ausgleichsschichtdicke D_A für Aufbauten des Bautyps AS1 (Temperaturzone I)

Im dargestellten Beispiel für Aufbauten des Bautyps AS1 und die Temperaturzone I wird die vorgeschlagene Ausgleichschichtdicke lt. RVS 03.08.64 – Entwurf (Tabelle 36), welche auf Basis von Simulationsrechnungen für die LK 0,05 bis LK10 erstellet wurde, auf Anwendbarkeit für die LK 25 bis LK163 überprüft. Die Dicke der Ausgleichschicht D_A wird von der Resttragfähigkeit der bestehenden bituminösen Schicht bestimmt.

Tabelle 36: Ausgleichsschichtdicke D_A in Abhängigkeit der Resttragfähigkeit lt. RVS 03.08.64-Entwurf [2]

Tabelle lt. RVS 03.08.64	
Resttragtragfähigkeit der bestehenden Asphaltschicht [%]	Ausgleichsschichtdicke DA [cm]
90 bis 100	± 0
70 bis 89	+ 2
50 bis 69	+ 4
< 50	Generalerneuerung

Die Ausgangswerte der Überprüfung stellen die maximal ertragbare Anzahl an Lastwechseln N_{zul} für eine Oberbauverstärkung von 4 cm bei 100% Resttragfähigkeit in Tabelle 31 dar. Die Ausgangswerte ergeben sich daraus, dass bei jeder Sanierungsmaßnahme zumindest Deckschicht erneuert und somit 4 cm Asphalt abgefräst wird. Durch die 4 cm Oberbauverstärkung wird die ursprüngliche Dicke der bituminösen Schicht gemäß der Bemessungstabelle lt. RVS03.08.63 wieder hergestellt. Der RVS 03.08.64 Entwurf schlägt bei einem Abfall der Resttragfähigkeit der bestehenden Asphaltschichten (Asphaltdicke lt. Bemessungstabellen) auf 70 bis 89 % eine Ausgleichschichtdicke D_A von 2 cm für die Lastklassen LK0,05 bis LK10 vor. Für die Anwendbarkeit der Tabelle für die Lastklassen LK25 bis LK163 erfolgt ein Vergleich der maximalen Lastwechsel N_{zul} einer Oberbauverstärkung von 4 cm (Tabelle 31), mit den maximalen Lastwechsel N_{zul} (Tabelle 32), einer Oberbauverstärkungsmaßnahme von 6 cm. Hierbei ist ersichtlich, dass die Anzahl der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

ertragbaren maximalen Lastwechsel N_{zul} bei einer Oberbauverstärkung von 6 cm mit nur 70 % Resttragfähigkeit größer ist als die Anzahl der ertragbare maximalen Lastwechsel N_{zul} bei einer Oberbauverstärkung von 4 cm mit 100 % Resttragfähigkeit. Diese Erkenntnis bedeutet im Umkehrschluss, dass ein Abfall der Resttragfähigkeit der bestehenden Asphaltschicht auf 70 %, durch eine Ausgleichschichtdicke D_A von 2 cm kompensiert wird. Diese Annahme ist für die Lastklassen LK42, LK83, LK163 auf der sicheren Seite. Für die Lastklasse LK25 liegt die Annahme auf der tolerierbaren unsicheren Seite. Die Ausgleichsschichtdicke D_A von 2 cm würde nur den Abfall der Resttragfähigkeit auf ca. 73 % kompensieren. Als tolerierbare Abweichung wurde eine Resttragfähigkeit von 5 % gewählt. Grafisch dargestellt wird diese Erkenntnis in der Tabelle 32. Die dicke Umrandungslinie kennzeichnet den untersuchten Bereich der Resttragfähigkeit. Der grün hinterlegte Tabellenwert (die maximal ertragbaren Lastwechsel), charakterisiert die sichere Seite der Annahme. Dieselben Überlegungen werden für die Anwendbarkeit der Ausgleichsschichtdick 4 cm bei eine Resttragfähigkeit von 50 bis 69 % der bestehenden Asphalttragfähigkeit aufgestellt. Dabei wird ein Vergleich der maximalen Lastwechsel N_{zul} einer Oberbauverstärkung von 4 cm (Tabelle 31), mit den maximalen Lastwechsel N_{zul} (Tabelle 34) einer Oberbauverstärkungsmaßnahme von 8 cm durchgeführt. Hierbei ist wieder ersichtlich, dass die Anzahl der ertragbaren maximalen Lastwechsel N_{zul} bei einer Oberbauverstärkung von 8 cm mit nur 50 % Resttragfähigkeit größer ist als die Anzahl der ertragbare maximalen Lastwechsel N_{zul} bei einer Oberbauverstärkung von 4 cm mit 100 % Resttragfähigkeit. Somit wird ein Abfall der Resttragfähigkeit der bestehenden Asphaltschicht auf 50 %, durch eine Ausgleichschichtdicke D_A von 4 cm kompensiert. Diese Annahmen der Lastklassen LK42, LK83, LK163 befinden sich wieder auf der sicheren Seite. Für die Lastklasse LK25 liegt die Annahme abermals auf der tolerierbaren unsicheren Seite. Die Ausgleichsschichtdicke D_A von 4 cm würde nur den Abfall der Resttragfähigkeit auf ca. 54 % kompensieren. Ab einem Abfall der Resttragfähigkeit unter 50 % der Ausgangstragfähigkeit der bestehenden bituminösen Asphaltschicht, wird anstelle einer Oberbauverstärkungsmaßnahme der gesamte Straßenoberbau erneuert.

6.3.2 Ausgleichsschichtdicke D_A

Dieselbe Vorgehensweis, welche im Kapitel (6.3.1) für den Bautyp AS1 (Tp1) beschrieben wurde, wird auch für die Bautypen AS2 und AS4 durchgeführt. Sowohl für Temperaturzone I als auch für Temperaturzone II. Die Berechnungen dazu sind in grafischer bzw. tabellarischer Struktur im Anhang ersichtlich.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

7 Forschungsergebnisse

In der

Tabelle 37 sind alle Untersuchungsergebnisse für die Bautypen AS1, AS2 und AS4 für die Lastklassen LK25 bis LK163 zur Anwendbarkeit der Ausgleichsschichtdickentabelle lt. RVS 03.08.64-Entwurf ersichtlich. Es wird für jede Oberbauvariante der maximale Abfall der Resttragfähigkeit in Prozent, welcher durch die unterschiedlichen Ausgleichschichtdicken kompensiert werden kann, dargestellt. Die dunkelgrünen Tabellenfelder charakterisieren, die sichere Seite der Annahme. Die hellgrünen Tabellenfelder zeigen Annahmen auf, welche auf der unsicheren Seite liegen.

Tabelle 37: Übersicht der Untersuchungsergebnisse

		Temperaturzone I				Temeraturzone II				
	Ausgleichs-schichtdicke D_A[cm]	LK163	LK83	LK42	LK25	LK163	LK83	LK42	LK25	Resttragfähigkeit der bestehenden Asphaltschichten [%]
AS1	± 0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90 - 100
	+ 2	70%	70%	70%	75%	55%	55%	55%	55%	70 - 89
	+ 4	50%	50%	50%	55%	50%	50%	50%	50%	50 - 69
	Generalerneuerung	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	< 50
AS2	± 0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90 - 100
	+ 2	65%	65%	65%	70%	70%	65%	65%	65%	70 - 89
	+ 4	50%	50%	50%	55%	50%	50%	50%	55%	50 - 69
	Generalerneuerung	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	< 50
AS4	± 0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90 - 100
	+ 2	80%	75%	75%	70%	80%	75%	75%	70%	70 - 89
	+ 4	55%	50%	50%	50%	60%	55%	50%	50%	50 - 69
	Generalerneuerung	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	< 50

	DA - "auf der sicheren Seite"
	DA - "auf der unsicheren Seite"

Abweichung - min. Resttragfähigkeit	< 5 %	tolerierbare Abweichung
	> 5 %	Maßnahme erfoderlich

7.1 Beantwortung der Forschungsfrage und Empfehlung

Frage 1: Ist einer Erweiterung des Anwendungsbereichs der RVS 03.08.64 (Entwurf) – Oberbauverstärkungen für Asphaltstraßen der Lastklassen LK 25 bis LK163 möglich?

Die Ergebnisse der

Tabelle 37 veranschaulichen eine gute Übereinstimmung der Lastklassen LK25 bis LK163, mit den Ausgleichsschichtdicken gemäß RVS 03.08.64 (Entwurf) für Lastklassen kleiner LK10. Somit steht einer Erweiterung des Anwendungsgebietes der RVS 03.8.64 auf die Lastklassen LK25 bis LK163 nichts im Wege. Für den Bautypen AS1 und AS2 sind alle Annahmen auf der sicheren Seite bzw. besitzen tolerierbare Abweichung von unter 5 % zur Mindestresttragfähigkeit. Die Ergebnisse des Bautyps AS4 weist in beiden Temperaturzonen für die Lastklasse LK163 Abweichungen größer 10% zur Mindestresttragfähigkeit auf. Überdies besitzen einzelne Lastklassen der Bautypklasse AS4 tolerierbare Abweichungen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Empfehlung:

Für der Erweiterung des Anwendungsbereiches der Vergleichsmethode bzw. konkret der Ausgleichsichttabelle lt. RVS 03.06.64 auf die Lastklasse LK25 bis LK163 wird eine Ergänzung für die momentan vorhandene Ausgleichsschichtdickentabelle empfohlen. Die Ergänzung betrifft die Lastklassen LK83 und LK163 des Bautyps AS4. Hier wird angeraten die Ausgleichsschichtdicke D_A für 70 bis 89 % Resttragfähigkeit auf 3 cm und die Ausgleichsschichtdicke D_A für 50 bis 69 % Resttragfähigkeit auf 5 cm zu erhöhen. Die Ergänzung kann in Form einer Anmerkung der bestehenden Ausgleichsschichtdickentabelle erfolgen. (siehe Tabelle 38)

Tabelle 38: Ausgleichsschichtentabelle für LK0,05 bis LK163

Tabelle lt. RVS 03.08.64	
Resttragtragfähigkeit der bestehenden Asphaltschicht [%]	Ausgleichsschichtdicke DA [cm]
90 bis 100	± 0
70 bis 89	+ 2
50 bis 69	+ 4
< 50	Generalerneuerung
Anmerkung:	**LK83 & LK163 - Bautyp 4: Ausgleichsschichtdicke + 1 cm**

7.2 Zusammenfassung

Oberbauverstärkungen von Asphaltstraßen werden in den nächsten Jahren eine immer wichtiger werdende Rolle in der baulichen Erhaltung von Österreichs Straßen spielen. Damit eine optimale Dimensionierung in technischer, wirtschaftlicher, als auch in ökologischer Hinsicht möglich ist, müssen dafür die entsprechenden Richtlinien geschaffen werden. Die momentan gültige Richtlinie RVS 03.08.64 „Bautechnische Details – Oberbauverstärkung der Asphaltstraße“ entstammt aus dem Jahr 1992 und benötigt dringend eine Überarbeitung bzw. Weiterentwicklung. Aufbauend auf den Forschungstätigkeiten am Forschungsbereich Straßenwesen, auf Grundlage derer die RVS 03.08.64 umfassend überarbeitet und neu strukturiert wurde, widmet sich diese Arbeit der Erweiterung des Anwendungsbereiches der Vergleichsmethode. Im Zuge der Neugestaltung des Vorentwurfs der RVS 03.08.64 wurden für die Lastklassen LK0,05 bis LK10 Ausgleichsdicken in Abhängigkeit der Resttragfähigkeit des Bestandaufbaues festgelegt. Aufgrund der Bedeutsamkeit dieser baulichen Erhaltungsmethode wird in dieser Arbeit die Applikation des Vergleichsverfahrens für die Lastklassen LK25 bis LK163 geprüft.

Um das Anwendungsgebiet der RVS 03.08.64 – Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen auf Erweiterbarkeit zu prüfen wird am Anfang dieser Arbeit ein facheinschlägiges Literaturwissen vermittelt. Das notwendige Methodenwissen und die wichtigsten Aspekte der Methode werden am Anfang dieser Arbeit beschrieben. Nachfolgend werden die Methoden der Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen im Allgemeinen vorgestellt. Es werden die möglichen Ursachen für die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Notwendigkeit einer Oberbauverstärkung angeführt sowie auf die unterschiedlichen Varianten der Ausführung einer Oberbauverstärkung eingegangen. Ebenso beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Thema der Tragfähigkeit. Dabei wird die Tragfähigkeitsbestimmung für den Einsatz von Oberbauverstärkungen ausführlich erklärt. Darüber hinaus werden die Methoden für die Untergrundtragfähigkeitsmessung sowie die gängigen Tragfähigkeitsmessmethoden für Asphaltstraßen vorgestellt. Im vierten Kapitel wird auf den neuen Entwurf der RVS 03.08.64 Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen eingegangen. Dabei werden alle neu strukturierten bzw. überabeiteten Methoden der Dimensionierung von Oberbauverstärkungsschichten beschrieben und erklärt. Der erste Teil des fünften Kapitels befasst sich mit den Eingangsgrößen für die Simulationsberechnungen, die als Grundlage für die Erweiterung des Anwendungsbereichs der Methodik dienen. Es wird ausführlich auf die gewählte Belastung, die unterschiedlichen Oberbauschichtdicken sowie auf die berücksichtigten Materialeigenschaften eingegangen. Der zweite Teil dieses Kapitels setzt sich mit den Methoden der Rechnerischen Dimensionierung auseinander. Hier werden ausführlich die Rechenschritte gezeigt, um ausgehend von einem dreidimensionalen Spannungszustand, auf die maximal ertragbaren Lastwechsel der Straßenkonstruktion zu kommen (abhängig von der Resttragfähigkeit).

Nach der Ermittlung der erforderlichen Eingangsgrößen und der ausführlichen Erläuterung der Methode der Rechnerischen Dimensionierung, widmet sich diese Arbeit der Überprüfung der Erweiterung des Anwendungsgebietes der RVS 03.08.64 auf die Lastklassen LK25 bis LK163. Im Zuge dieser Berechnung werden die vorhandenen Ausgleichsschichtdicken gemäß RVS 03.08.64 (Entwurf) für die Lastklassen LK25 bis LK 163 geprüft. Alle Rechenschritte der durchgeführten Untersuchung werden anhand ausgewählter Beispiele verständlich und ausführlich beschrieben.

Die Forschungsergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung der vorhandenen Ausgleichsschichtdicken gemäß RVS 03.08.64(Entwurf) für die untersuchten Lastklassen LK25 bis LK163. Für die Bautypen AS1 und AS2 sind alle Annahmen auf der sicheren Seite bzw. besitzen tolerierbare Abweichung (< 5 %). Die Ergebnisse des Bautyps AS4 weist in beiden Temperaturzonen für die Lastklasse LK163 Abweichungen größer als die tolerierbare Abweichung auf. Dadurch wird für die Erweiterung des Anwendungsbereiches der Vergleichsmethode bzw. konkret der Ausgleichsichttabelle lt. RVS 03.06.64 auf die Lastklasse LK25 bis LK163 eine Ergänzung für die momentan vorhandene Ausgleichsschichtdickentabelle empfohlen. Die Ergänzung betrifft die Lastklassen LK83 und LK163 des Bautyps AS4. Hier wird angeraten die Ausgleichsschichtdicke DA für 70 bis 89 % Resttragfähigkeit auf 3 cm und die Ausgleichsschichtdicke DA für 50 bis 69 % Resttragfähigkeit auf 5 cm zu erhöhen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

8 Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

[1] Bmvit, Statistik Straße und Verkehr, Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, Jänner 2021.

[2] RVS 03.08.64, Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen, FSV - Österreichische Forschungsgesellschaft für Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2020.

[3] WENINGER-VYCUDIL A., Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System, Dissertation an der Technischen Universität Wien, Wien, 2001.

[4] SCHMUCK A., Straßenerhaltung mit System, Grundlagen des Managements, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1987.

[5] SABEV D., Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmenkatalog für Asphaltstraßen, Technische Universität Wien, Wien, 2010.

[6] LUGMAYR J., Methoden zur Dimensionierung von Oberbauverstärkungen, 2003.

[7] RVS 13.01.41, Grundlagen für Zustands- und Maßnahmenbeurteilung, FSV - Österreichische Forschungsgesellschaft für Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2015.

[8] WISTUBA M., BLAB R., LITZKA J., Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen: Methodenüberblick und Ableitung von Klimadaten für die analytische Bemessung, Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2004.

[9] GESTRATA - Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt, Asphalt Handbuch, 4th ed., Wien, 2010.

[10] JENDIA S., Bewertung der Tragfähigkeit von bituminösen Straßenbefestigungen, 45th ed., Veröffentlichung des Instituts für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TU), 1995.

[11] KNAUFF M., Quantitative Bewertung der Tragfähigkeit von Asphaltbefestigungen durch Falling-Weight-Deflectometer Messungen, 4th ed., Universität Duisburg-Essen, Essen, 2015.

[12] CHAKAR T., Methode zur Klassifizierung von Tragfähigkeitsmessergebnissen des Falling Weight Deflectometers bei Asphaltbefestigungen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, 2011.

[13] FREDRICKSON J., LEYKAUF G., Frost Considerations in Highway Pavement Design: West-Central United States, Washington D.C, 1963.

[14] HOTHAN. J, NUMRICH. R, WELLNER F., Untersuchung korrelativer Zusammenhänge zwischen Auswertungsergebnissen von verschiedenen Tragfähigkeitsmesssysteme, Hannover, 1999.

[15] KRAUSE G., Abgrenzung von Mängelklassen zur Kennzeichnung von wahrscheinlichen Schadensursachen mit Hilfe messtechnisch erfasster Bestands- und Zustandsmerkmale, Bonn, 2000.

[16] STAUBE, EDELTRAUD, BECKEDAHL, HARTMUT, Straßenbau und Straßenerhaltung: Ein Handbuch für Studium und Praxis, 7th ed., Erich Schmidt, Berlin, 2004.

[17] ADAM D., Grundbau und Bodenmechanik: Studienunterlagen zu Vorlesung, Institut für Geotechnik - TU Wien, Wien, 2016.

[18] Anix Gmbh - Benkelmanbalken, https://www.anix.biz/de/benkelman-balken/, Zugriff am 2021.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

[19] RVS 11.06.63, Prüfverfahren - Feldprüfung, FSV - Österreichische Forschungsgesellschaft für Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 1995.

[20] RVS 11.06.72, Tragfähigkeitsmessung mit dem Fallgewichtsdeflektometer, FSV - Österreichische Forschungsgesellschaft für Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2018.

[21] RVS 03.08.63, Oberbaubemessung, FSV - Österreichische Forschungsgesellschaft für Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2016.

[22] Mais R., Zur Beanspruchung von bituminösen Fahrbahnbefestigungen. Ein Beitrag zur Ermittlung standardisierter Fahrbahnbefestigungen mit Hilfe der Mehrschichtentheorie., 138th ed., Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bonn, 1973.

[23] WISTUB M., Klimaeinflüsse auf Asphaltstraßen: Maßgebende Temperatur für die analytische Oberbaubemessung in Österreich, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Wien, 2003.

[24] RVS 03.06.68, Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Wien, 1.Jänner 2018.

[25] Shell, pavement design manual - asphalt pavements and overlays for road traffic, Shell International Petroleum Company Limited, London, 1978.

[26] FREDRICKSON F.C, Frost Considerations in Highway Pavement Design: West-Central United States., Highway Research Record No.33, Washington D.C, 1993.

[27] BURMISTER D.M, The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems, Journal of Applied Physics, 1943.

[28] LEON A, über die Rolle des Trennbruchs im Rahmen der Morschen Austrengungshypothese., 31st ed., Der Bauingenieur 15, 1934.

[29] HAGEMANN R., Ein Verfahren zur Beurteilung flexibler Fahrbahnbefestigungen unter Berücksichtigung von Festigkeitshypothesen für Asphalt, Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, Hannover, 1980.

[30] LORENZL H., Modell zur Ermittlung der Nutzungsdauer von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt in Abhängigkeit von der Bindemittelviskosität, 13th ed., Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig, Braunschweig, 1996.

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Straßenerhaltung 5
Abbildung 13: Varianten der Oberbauverstärkung 9
Abbildung 14: Hocheinbau (Prinzipskizze) 10
Abbildung 15: teilweiser Tiefeinbau (Prinzipskizze) 11
Abbildung 16: Tiefeinbau (Prinzipsskizze) 12
Abbildung 2: Einflüsse auf die Tragfähigkeit einer Straßenbefestigung 14
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Änderung der Tragfähigkeit einer Straße mit der Jahreszeit in Abhängigkeit von der Untergrundtragfähigkeit 15
Abbildung 4: Ursachen der Rissbildung von Asphaltstraßen 17
Abbildung 5: Entstehung von Unebenheit in Längsrichtung 18
Abbildung 6: Entstehung von Unebenheiten in Querrichtung 19
Abbildung 7: Druck-Setzungs-Diagramm 20
Abbildung 8: Komponenten des leichten Fallgewichtsgerät 21

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abbildung 9: Benkelmanbalken 22
Abbildung 10: Benkelmanbalken – Versuchablauf 23
Abbildung 11: Nivelliergerät & Umrechnung der Verschiebung d‘ auf die Deflektion d 24
Abbildung 12: Messprinzip der Tragfähigkeitsmessung und Deflektionsmulde 25
Abbildung 17: Temperaturzonenkarte (bituminöse Straßenoberbau) für Österreich 36
Abbildung 18: Parameter r & s für Straßenbaubitumen lt. ÖNORM B3610 42
Abbildung 19: Struktur des Mehrschichtensystems 44
Abbildung 20: Leon’sche Parabel – links für Schubbruch ohne Möglichkeit des Trennbruchs (1≤c<3); rechts mit Möglichkeit des Trennbruchs (c≥3) 45
Abbildung 21: Mehrschichten Tool (MST -Tool) TU Wien 58
Abbildung 22: Trendlinie_AS1+4_Tp1 62
Abbildung 23: Trendlinie_AS1+10_Tp1 63
Abbildung 24: Trendlinie_AS1+4_Tp2 75
Abbildung 25: Trendlinie_AS1+10_Tp2 76
Abbildung 26: Trendlinie_AS2+4_Tp1 77
Abbildung 27: Trendlinie_AS2+4_Tp2 78
Abbildung 28: Trendlinie_AS2+10_Tp1 79
Abbildung 29: Trendlinie_AS2+10_Tp2 80
Abbildung 30: Trendlinie_AS4+4_Tp1 81
Abbildung 31: Trendlinie_AS4+4_Tp2 82
Abbildung 32: Trendlinie_AS4+10_Tp1 83
Abbildung 33: Trendlinie_AS4+10_Tp2 84

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgleichsschichtdicke DA in Abhängigkeit von der Resttragfähigkeit 27
Tabelle 2: Resttragfähigkeit in Abhängigkeit vom visuellen Zustand 30
Tabelle 3: Bemessungstabelle für Oberbauten mit Asphaltbefestigung 35
Tabelle 4: Temperaturperioden und deren Anteil pk an einem Jahr 36
Tabelle 5: Temperaturprofile [C°] in Temperaturzone I 37
Tabelle 6: Temperaturprofile [C°] in Temperaturzone II 38
Tabelle 7: Festlegung der Untergrundtragfähigkeiten in Abhängigkeit von der Jahresperiode 39
Tabelle 8: E-Modulverhältnis für ungebundene Schichten 40
Tabelle 9: E-Module der ungebundenen Schichten 40
Tabelle 10: Bemessungsstufen bei der Festlegung der Schichtsteifigkeit $Smix$ bei unterschiedlicher Datenverfügbarkeit 41
Tabelle 11: Parameter a, b, c, d Straßenbaubitumen lt. ÖNORM B3610 42
Tabelle 12: Volumetrische Daten Asphalt - Oberbauverstärkung 43
Tabelle 13: Volumetrische Daten Asphalt – restl. Deck- und Tragschicht 43
Tabelle 14: Parameter a, b, c, d - Oberbauverstärkung 51
Tabelle 15: Parameter a, b, c, d – Bestandsasphaltschicht 51
Tabelle 16: E-Modul des Bestandasphalt Smix 51

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 17: E-Modul des Oberbauverstärkung Smix 52
Tabelle 18: Oberbauaufbau LK25 + 4cm_100%_Tp1 53
Tabelle 19: Oberbauaufbau LK25+ 4cm_50%_Tp1 55
Tabelle 20: MST -Tool Ergebnis LK25_AS1+4_100%_T1 58
Tabelle 21: Parameter für die Vergleichsspannungsermittlung LK25_AS1+4_100%_T1 59
Tabelle 22: Hauptnormalspannungen- und die resultierende Vergleichsspannungen der LK25_AS1+4_100%_T1 59
Tabelle 23: zulässige Lastwechsel je Temperaturperiode LK25_AS1+4_100%_T1 60
Tabelle 24: Dimensionierungsnachweis – Ermittlung der max. ertragbaren Lastwechsel LK25_AS1+4_100%_T1 60
Tabelle 25: Parameter a & b der Trendlinien Bautyp AS1 64
Tabelle 26: N zul bestimmt durch Funktionsgleichung 64
Tabelle 27: N zul abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (4cm) und Resttragfähigkeit 64
Tabelle 28: N zul abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (6cm) und Resttragfähigkeit 65
Tabelle 29: N zul abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (7cm) und Resttragfähigkeit 65
Tabelle 30: N zul abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (8cm) und Resttragfähigkeit 65
Tabelle 31: N zul abhängig von Oberbauverstärkungsdicke (10cm) und Resttragfähigkeit 66
Tabelle 32: Ausgleichsschichtdicke DA in Abhängigkeit der Resttragfähigkeit lt. RVS 03.08.64-Entwurf 66
Tabelle 33: Übersicht der Untersuchungsergebnisse 68
Tabelle 34: Ausgleichsschichtentabelle für LK0,05 bis LK163 69
Tabelle 35: Ermittlung N zul – Bautyp AS1_T1 85
Tabelle 36: Ermittlung N zul – Bautyp AS2_T1 87
Tabelle 37: Ermittlung N zul – Bautyp AS2_T2 89
Tabelle 38: Ermittlung N zul – Bautyp AS4_T1 91
Tabelle 39: Ermittlung N zul – Bautyp AS4_T2 93

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

9 Anhang

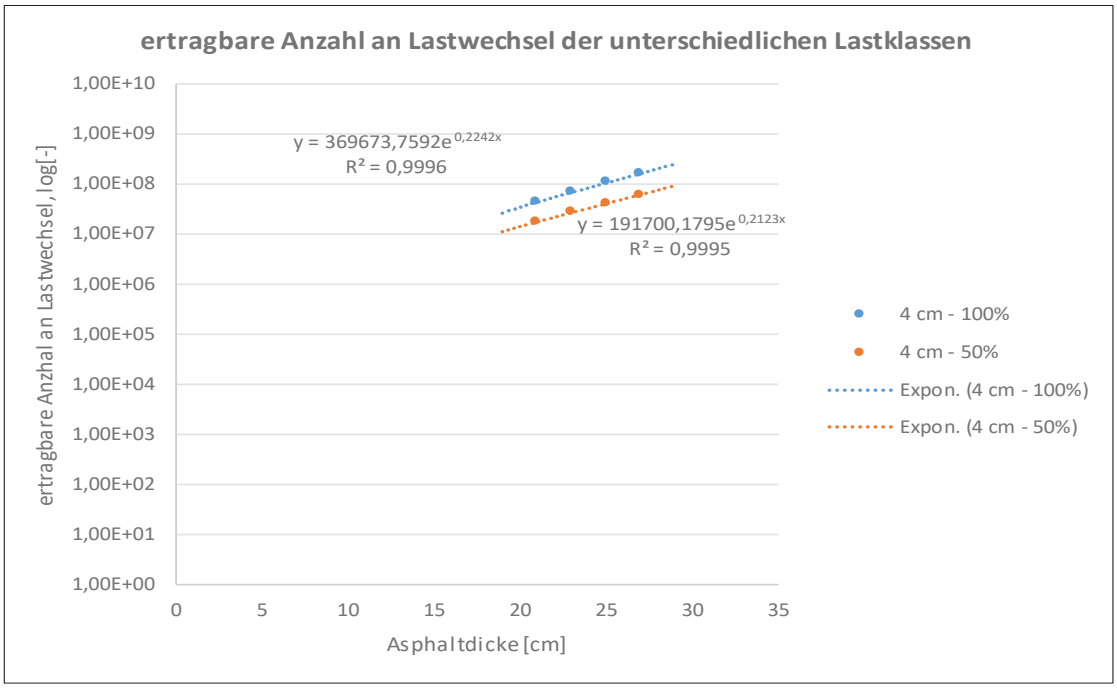
9.1 Trendlinien

Bautyp:	**AS1 + 4**

Temperaturzone:	**II**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS1+4	21	4,06E+07
LK42_AS1+4	23	6,45E+07
LK82_AS1+4	25	1,02E+08
LK163_AS1+4	27	1,56E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS1+4	21	1,64E+07
LK42_AS1+4	23	2,54E+07
LK82_AS1+4	25	3,92E+07
LK163_AS1+4	27	5,85E+07



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	369674,76	0,2242
Struktur 50%	191700,18	0,2123

Abbildung 26: Trendlinie_AS1+4_Tp2

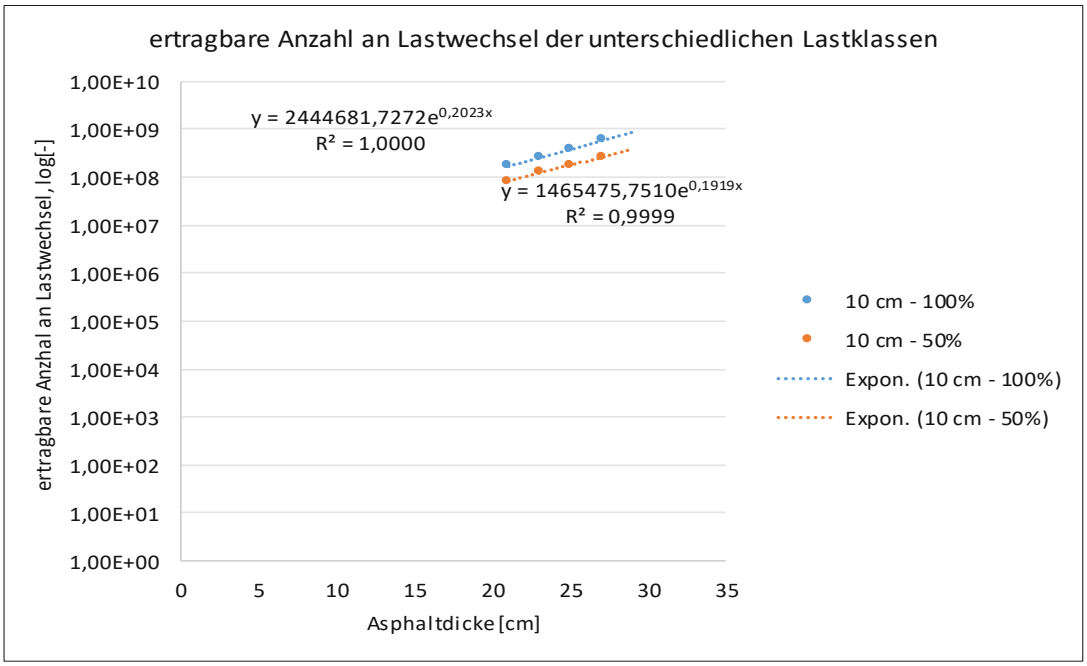
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bautyp:	**AS1 + 10**

Temperaturzone:	**II**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS1+10	21	1,71E+08
LK42_AS1+10	23	2,58E+08
LK82_AS1+10	25	3,84E+08
LK163_AS1+10	27	5,75E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS1+10	21	8,21E+07
LK42_AS1+10	23	1,22E+08
LK82_AS1+10	25	1,77E+08
LK163_AS1+10	27	2,61E+08



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	2444681,73	0,2605
Struktur 50%	1465475,75	0,2255

Abbildung 27: Trendlinie_AS1+10_Tp2

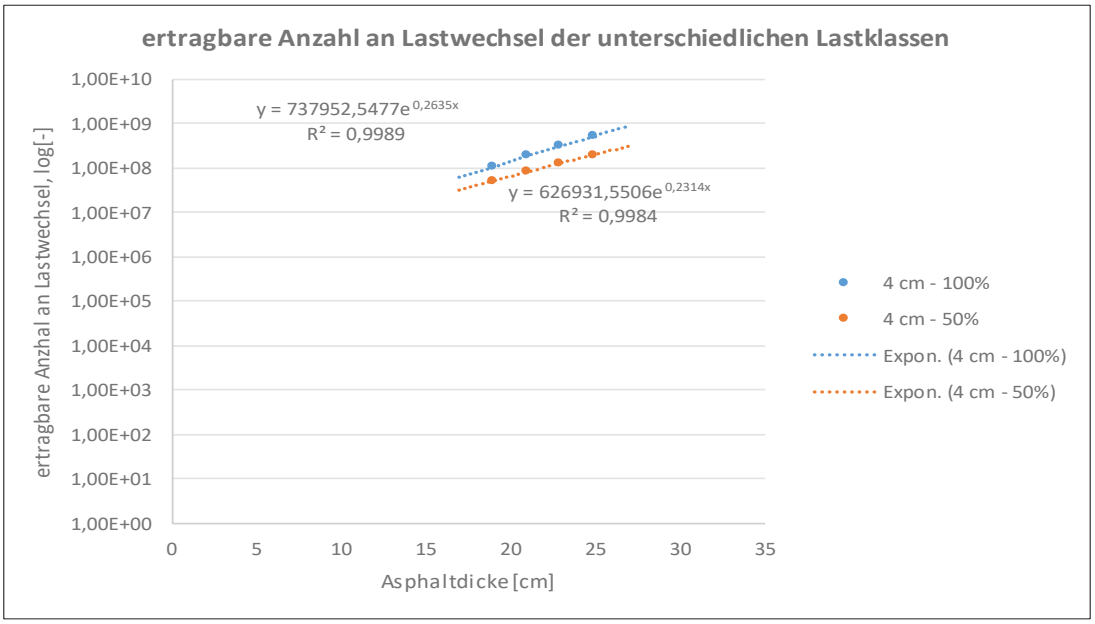
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bautyp:	**AS2 + 4**

Temperaturzone:	**I**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS2+4	19	1,07E+08
LK42_AS2+4	21	1,93E+08
LK83_AS2+4	23	3,20E+08
LK163_AS2+4	25	5,25E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS2+4	19	4,94E+07
LK42_AS2+4	21	8,43E+07
LK83_AS2+4	23	1,29E+08
LK163_AS2+4	25	2,00E+08



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	737952,55	0,2635
Struktur 50%	626931,55	0,2314

Abbildung 28: Trendlinie_AS2+4_Tp1

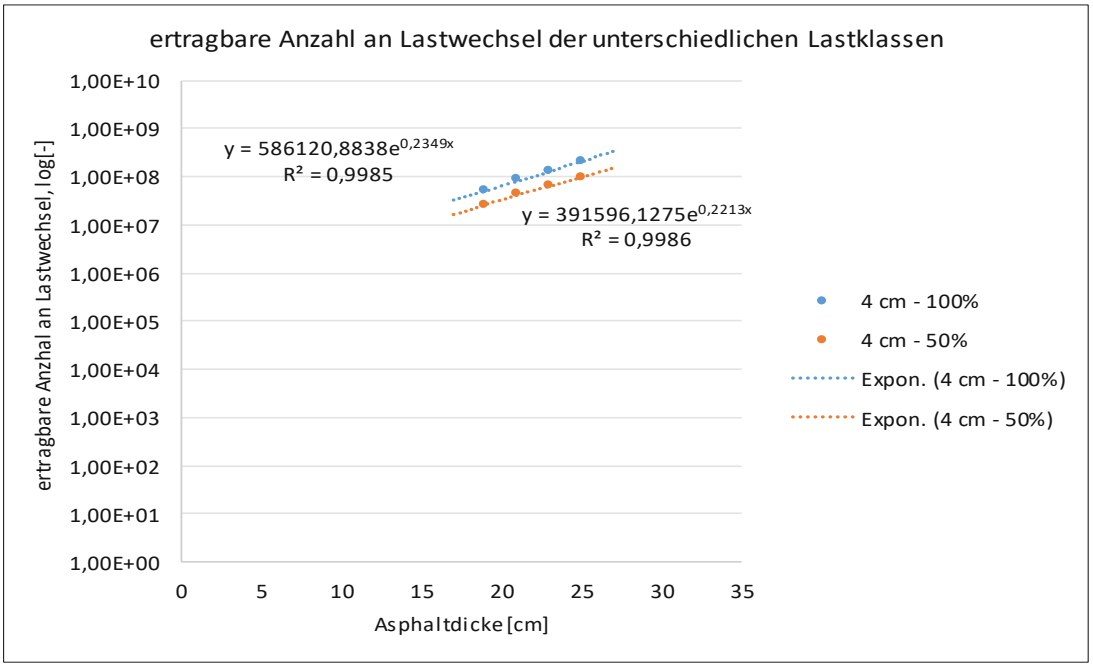
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bautyp:	**AS2 + 4**

Temperaturzone:	**II**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS2+4	19	4,94E+07
LK42_AS2+4	21	8,44E+07
LK83_AS2+4	23	1,31E+08
LK163_AS2+4	25	2,04E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS2+4	19	2,56E+07
LK42_AS2+4	21	4,22E+07
LK83_AS2+4	23	6,43E+07
LK163_AS2+4	25	9,73E+07



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	586120,88	0,2349
Struktur 50%	391596,13	0,2213

Abbildung 29: Trendlinie_AS2+4_Tp2

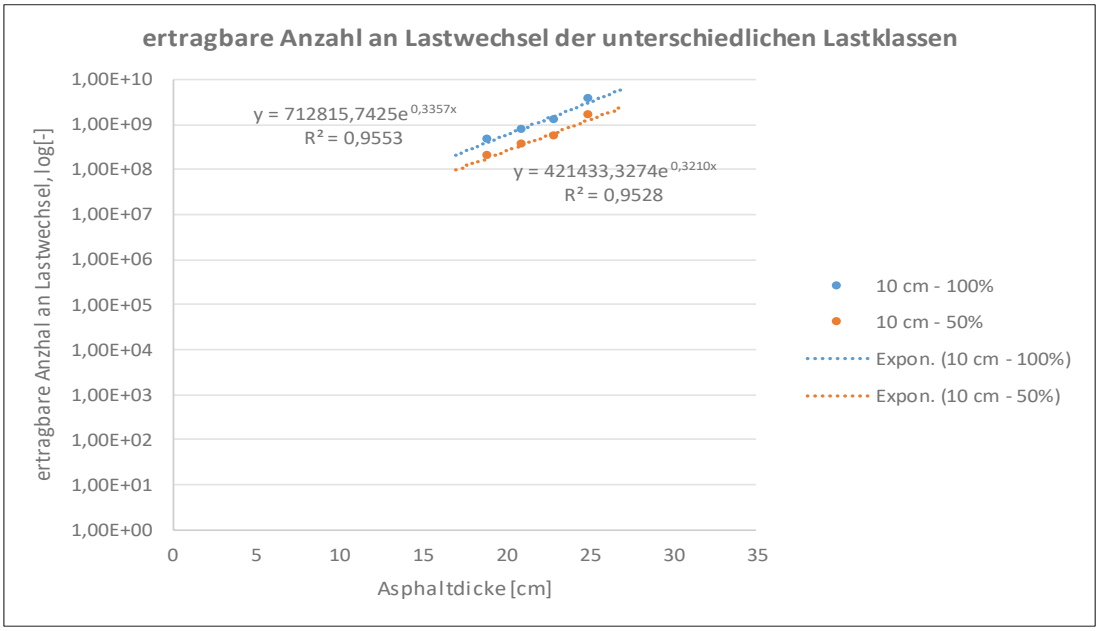
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bautyp:	**AS2 + 10**

Temperaturzone:	**I**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS2+10	19	4,72E+08
LK42_AS2+10	21	7,85E+08
LK83_AS2+10	23	1,24E+09
LK163_AS2+10	25	3,80E+09

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS2+10	19	2,08E+08
LK42_AS2+10	21	3,48E+08
LK83_AS2+10	23	5,24E+08
LK163_AS2+10	25	1,54E+09



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	712815,74	0,3357
Struktur 50%	421433,33	0,321

Abbildung 30: Trendlinie_AS2+10_Tp1

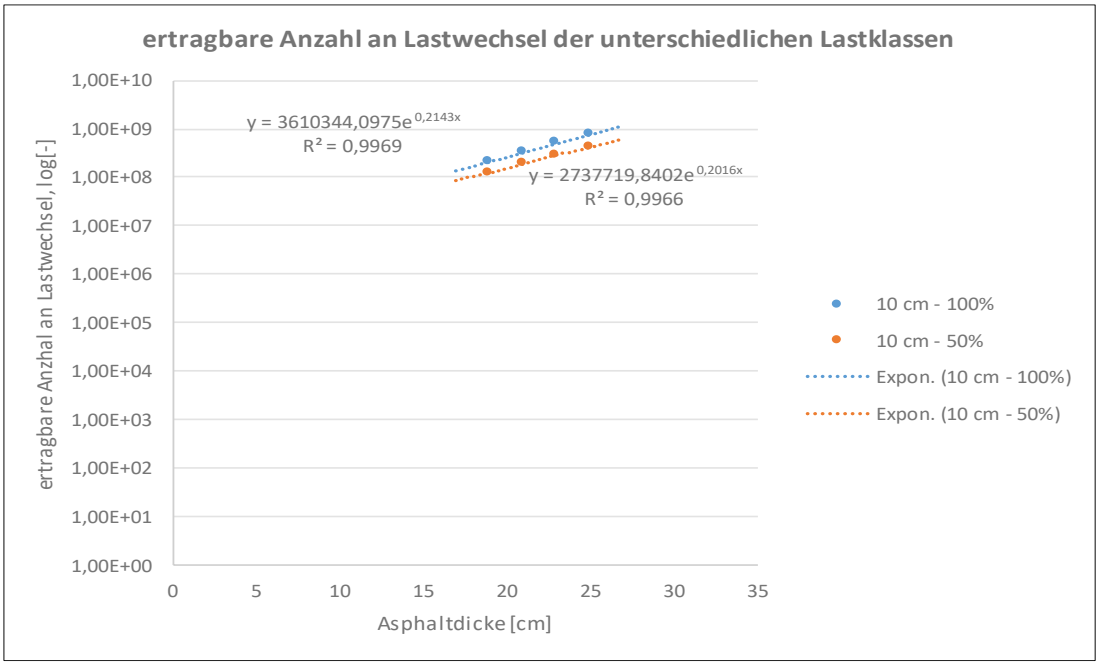
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bautyp:	**AS2 + 10**

Temperaturzone:	**II**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS2+10	19	2,04E+08
LK42_AS2+10	21	3,41E+08
LK83_AS2+10	23	5,06E+08
LK163_AS2+10	25	7,48E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS2+10	19	1,22E+08
LK42_AS2+10	21	1,97E+08
LK83_AS2+10	23	2,87E+08
LK163_AS2+10	25	4,13E+08



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	3610344,10	0,2143
Struktur 50%	2737719,84	0,2016

Abbildung 31: Trendlinie_AS2+10_Tp2

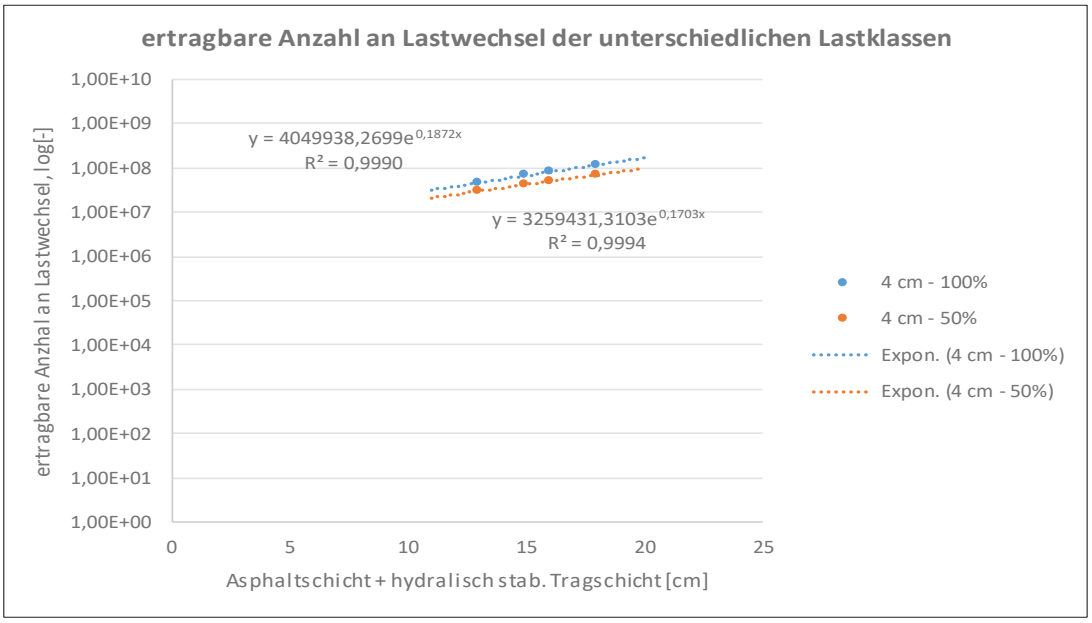
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bautyp:	**AS4 + 4**

Temperaturzone:	**I**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS4+4	13	4,58E+07
LK42_AS4+4	15	6,75E+07
LK83_AS4+4	16	8,21E+07
LK163_AS4+4	18	1,17E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS4+4	13	2,96E+07
LK42_AS4+4	15	4,22E+07
LK83_AS4+4	16	5,02E+07
LK163_AS4+4	18	6,94E+07



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	4049938,27	0,1872
Struktur 50%	3259431,31	0,1703

Abbildung 32: Trendlinie_AS4+4_Tp1

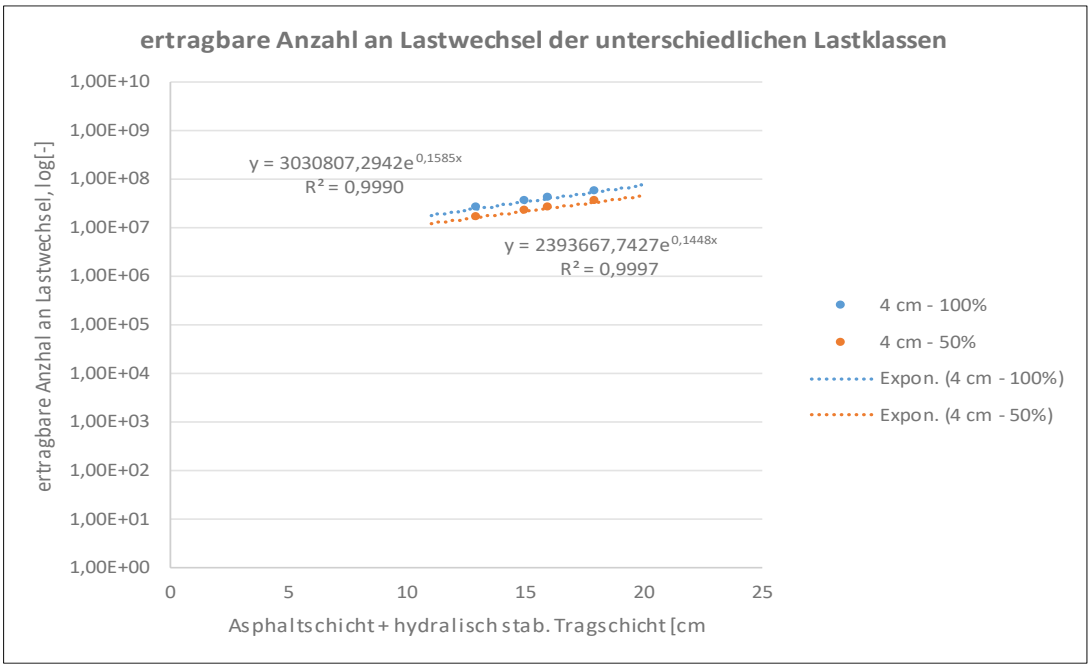
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bautyp:	**AS4 + 4**

Temperaturzone:	**II**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS4+4	13	2,36E+07
LK42_AS4+4	15	3,29E+07
LK83_AS4+4	16	3,87E+07
LK163_AS4+4	18	5,21E+07

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS4+4	13	1,57E+07
LK42_AS4+4	15	2,11E+07
LK83_AS4+4	16	2,44E+07
LK163_AS4+4	18	3,23E+07



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	3030807,29	0,1585
Struktur 50%	2393667,74	0,1448

Abbildung 33: Trendlinie_AS4+4_Tp2

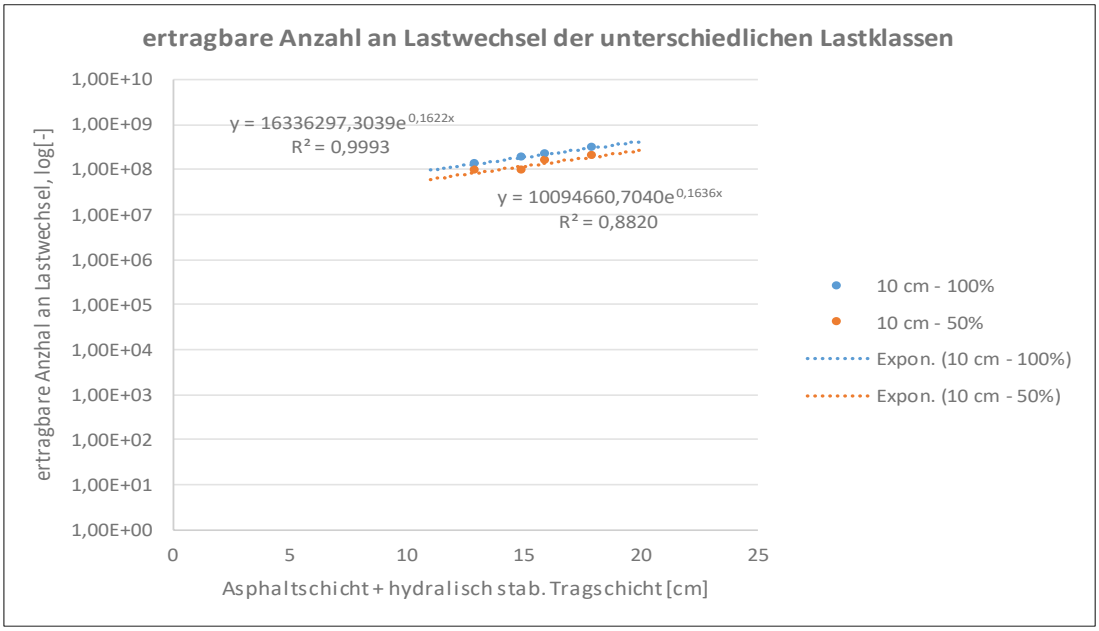
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bautyp:	**AS4 + 10**

Temperaturzone:	**I**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS4+10	13	1,35E+08
LK42_AS4+10	15	1,85E+08
LK83_AS4+10	16	2,22E+08
LK163_AS4+10	18	3,02E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS4+10	13	9,52E+07
LK42_AS4+10	15	9,15E+07
LK83_AS4+10	16	1,50E+08
LK163_AS4+10	18	2,02E+08



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	16336297,30	0,1622
Struktur 50%	10094660,70	0,1636

Abbildung 34: Trendlinie_AS4+10_Tp1

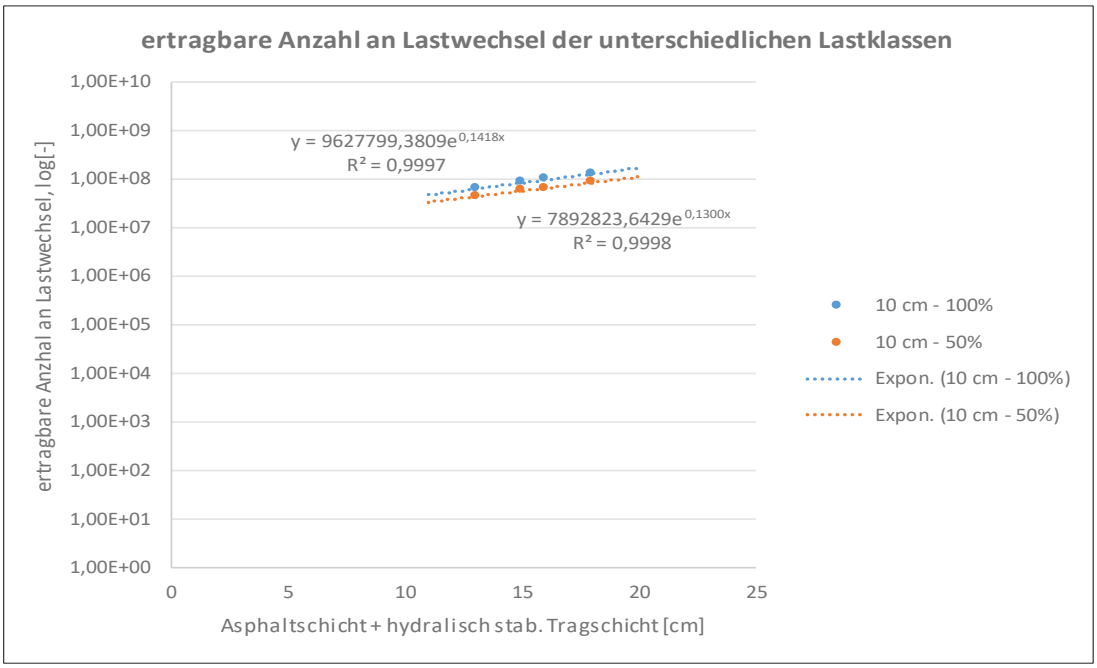
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bautyp:	**AS4 + 10**

Temperaturzone:	**II**

Struktur 100%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS4+10	13	6,06E+07
LK42_AS4+10	15	8,09E+07
LK83_AS4+10	16	9,35E+07
LK163_AS4+10	18	1,23E+08

Struktur 50%		
Bautyp	Asphaltdicke - 4 [cm]	Nzul
LK25_AS4+10	13	4,26E+07
LK42_AS4+10	15	5,57E+07
LK83_AS4+10	16	6,32E+07
LK163_AS4+10	18	8,17E+07



Trendlinie		
y = a*e^(b*x)	a	b
Struktur 100%	9627799,38	0,1418
Struktur 50%	7892823,64	0,13

Abbildung 35: Trendlinie_AS4+10_Tp2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9.2 N_{zul} abhängig von Oberbauverstärkungsdicke und Resttragfähigkeit

9.2.1 Bautyp AS1

Tabelle 39: Ermittlung N_{zul} – Bautyp AS1_T1

Temperaturzone II			
Trennline "exponentiell"		y = a*e^(b*x)	
AS1	Struktur	a	b
"+4cm"	100%	369674,76	0,2242
	50%	191700,18	0,2123
"+10cm"	100%	2444681,73	0,2605
	50%	1465475,75	0,2255

y = a*e^(b*x)		Asphaltdicke x - 4 [cm]			
		LK163	LK83	LK42	LK25
AS1	Struktur	27	25	23	21
"+4cm"	100%	1,57E+08	1,00E+08	6,42E+07	4,10E+07
	50%	5,92E+07	3,87E+07	2,53E+07	1,66E+07
"+10cm"	100%	2,77E+09	1,65E+09	9,78E+08	5,81E+08
	50%	6,46E+08	4,11E+08	2,62E+08	1,67E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
4 cm	100%	1,57E+08	1,00E+08	6,42E+07	4,10E+07
	95%	1,48E+08	9,43E+07	6,03E+07	3,85E+07
	90%	1,38E+08	8,81E+07	5,64E+07	3,61E+07
	85%	1,28E+08	8,19E+07	5,25E+07	3,37E+07
	80%	1,18E+08	7,58E+07	4,86E+07	3,12E+07
	75%	1,08E+08	6,96E+07	4,47E+07	2,88E+07
	70%	9,84E+07	6,34E+07	4,09E+07	2,63E+07
	65%	8,86E+07	5,72E+07	3,70E+07	2,39E+07
	60%	7,88E+07	5,10E+07	3,31E+07	2,14E+07
	55%	6,90E+07	4,49E+07	2,92E+07	1,90E+07
	50%	5,92E+07	3,87E+07	2,53E+07	1,66E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
6 cm	100%	4,09E+08	2,55E+08	1,59E+08	9,92E+07
	95%	3,82E+08	2,38E+08	1,49E+08	9,29E+07
	90%	3,54E+08	2,21E+08	1,38E+08	8,66E+07
	85%	3,27E+08	2,05E+08	1,28E+08	8,03E+07
	80%	2,99E+08	1,88E+08	1,18E+08	7,40E+07
	75%	2,72E+08	1,71E+08	1,07E+08	6,76E+07
	70%	2,44E+08	1,54E+08	9,71E+07	6,13E+07
	65%	2,16E+08	1,37E+08	8,67E+07	5,50E+07
	60%	1,88E+08	1,20E+08	7,63E+07	4,86E+07
	55%	1,60E+08	1,03E+08	6,58E+07	4,22E+07
	50%	1,31E+08	8,51E+07	5,52E+07	3,58E+07

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

		LK163	LK83	LK42	LK25
7 cm	100%	6,60E+08	4,07E+08	2,50E+08	1,54E+08
	95%	6,14E+08	3,79E+08	2,34E+08	1,44E+08
	90%	5,68E+08	3,51E+08	2,17E+08	1,34E+08
	85%	5,22E+08	3,23E+08	2,00E+08	1,24E+08
	80%	4,76E+08	2,95E+08	1,83E+08	1,14E+08
	75%	4,30E+08	2,68E+08	1,67E+08	1,04E+08
	70%	3,84E+08	2,40E+08	1,50E+08	9,36E+07
	65%	3,37E+08	2,12E+08	1,33E+08	8,34E+07
	60%	2,91E+08	1,83E+08	1,16E+08	7,32E+07
	55%	2,43E+08	1,55E+08	9,87E+07	6,29E+07
	50%	1,95E+08	1,26E+08	8,14E+07	5,26E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
8 cm	100%	1,07E+09	6,48E+08	3,94E+08	2,40E+08
	95%	9,89E+08	6,03E+08	3,67E+08	2,24E+08
	90%	9,12E+08	5,57E+08	3,40E+08	2,08E+08
	85%	8,35E+08	5,11E+08	3,13E+08	1,91E+08
	80%	7,58E+08	4,65E+08	2,85E+08	1,75E+08
	75%	6,81E+08	4,19E+08	2,58E+08	1,59E+08
	70%	6,04E+08	3,73E+08	2,31E+08	1,43E+08
	65%	5,27E+08	3,27E+08	2,03E+08	1,26E+08
	60%	4,49E+08	2,81E+08	1,76E+08	1,10E+08
	55%	3,70E+08	2,34E+08	1,48E+08	9,38E+07
	50%	2,91E+08	1,87E+08	1,20E+08	7,73E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
10 cm	100%	2,77E+09	1,65E+09	9,78E+08	5,81E+08
	95%	2,56E+09	1,52E+09	9,06E+08	5,39E+08
	90%	2,35E+09	1,40E+09	8,35E+08	4,98E+08
	85%	2,13E+09	1,28E+09	7,63E+08	4,57E+08
	80%	1,92E+09	1,15E+09	6,92E+08	4,15E+08
	75%	1,71E+09	1,03E+09	6,20E+08	3,74E+08
	70%	1,50E+09	9,05E+08	5,48E+08	3,32E+08
	65%	1,28E+09	7,82E+08	4,77E+08	2,91E+08
	60%	1,07E+09	6,58E+08	4,05E+08	2,50E+08
	55%	8,59E+08	5,35E+08	3,34E+08	2,08E+08
	50%	6,46E+08	4,11E+08	2,62E+08	1,67E+08

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

9.2.2 Bautyp AS2

Tabelle 40: Ermittlung N_{zul} – Bautyp AS2_T1

Temperaturzone I			
Trennline "exponentiell"		y = a*e^(b*x)	
AS1	Struktur	a	b
"+4cm"	100%	737952,55	0,2635
	50%	626931,55	0,2314
"+10cm"	100%	712815,74	0,3357
	50%	421433,33	0,321

y = a*e^(b*x)		Asphaltdicke x -4 [cm]			
		LK163	LK83	LK42	LK25
AS1	Struktur	27	25	23	21
"+4cm"	100%	9,07E+08	5,36E+08	3,16E+08	1,87E+08
	50%	3,24E+08	2,04E+08	1,28E+08	8,08E+07
"+10cm"	100%	6,16E+09	3,15E+09	1,61E+09	8,22E+08
	50%	2,45E+09	1,29E+09	6,78E+08	3,57E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
4 cm	100%	9,07E+08	5,36E+08	3,16E+08	1,87E+08
	95%	8,49E+08	5,03E+08	2,97E+08	1,76E+08
	90%	7,91E+08	4,69E+08	2,79E+08	1,66E+08
	85%	7,32E+08	4,36E+08	2,60E+08	1,55E+08
	80%	6,74E+08	4,03E+08	2,41E+08	1,44E+08
	75%	6,16E+08	3,70E+08	2,22E+08	1,34E+08
	70%	5,57E+08	3,37E+08	2,04E+08	1,23E+08
	65%	4,99E+08	3,04E+08	1,85E+08	1,13E+08
	60%	4,41E+08	2,70E+08	1,66E+08	1,02E+08
	55%	3,82E+08	2,37E+08	1,47E+08	9,14E+07
	50%	3,24E+08	2,04E+08	1,28E+08	8,08E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
6 cm	100%	1,72E+09	9,67E+08	5,44E+08	3,06E+08
	95%	1,61E+09	9,08E+08	5,12E+08	2,89E+08
	90%	1,50E+09	8,49E+08	4,80E+08	2,71E+08
	85%	1,39E+09	7,90E+08	4,48E+08	2,54E+08
	80%	1,29E+09	7,31E+08	4,16E+08	2,37E+08
	75%	1,18E+09	6,72E+08	3,84E+08	2,19E+08
	70%	1,07E+09	6,13E+08	3,52E+08	2,02E+08
	65%	9,61E+08	5,54E+08	3,20E+08	1,85E+08
	60%	8,52E+08	4,95E+08	2,88E+08	1,67E+08
	55%	7,44E+08	4,36E+08	2,56E+08	1,50E+08
	50%	6,36E+08	3,77E+08	2,24E+08	1,33E+08

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

		LK163	LK83	LK42	LK25
7 cm	100%	2,36E+09	1,30E+09	7,13E+08	3,92E+08
	95%	2,22E+09	1,22E+09	6,71E+08	3,69E+08
	90%	2,07E+09	1,14E+09	6,29E+08	3,47E+08
	85%	1,92E+09	1,06E+09	5,88E+08	3,25E+08
	80%	1,77E+09	9,84E+08	5,46E+08	3,03E+08
	75%	1,63E+09	9,06E+08	5,04E+08	2,81E+08
	70%	1,48E+09	8,27E+08	4,62E+08	2,59E+08
	65%	1,33E+09	7,48E+08	4,20E+08	2,36E+08
	60%	1,19E+09	6,70E+08	3,79E+08	2,14E+08
	55%	1,04E+09	5,91E+08	3,37E+08	1,92E+08
	50%	8,91E+08	5,13E+08	2,95E+08	1,70E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
8 cm	100%	3,25E+09	1,74E+09	9,35E+08	5,01E+08
	95%	3,05E+09	1,64E+09	8,80E+08	4,73E+08
	90%	2,85E+09	1,53E+09	8,26E+08	4,45E+08
	85%	2,65E+09	1,43E+09	7,71E+08	4,16E+08
	80%	2,45E+09	1,33E+09	7,17E+08	3,88E+08
	75%	2,25E+09	1,22E+09	6,62E+08	3,59E+08
	70%	2,05E+09	1,12E+09	6,08E+08	3,31E+08
	65%	1,85E+09	1,01E+09	5,53E+08	3,03E+08
	60%	1,65E+09	9,06E+08	4,98E+08	2,74E+08
	55%	1,45E+09	8,02E+08	4,44E+08	2,46E+08
	50%	1,25E+09	6,97E+08	3,89E+08	2,17E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
10 cm	100%	6,16E+09	3,15E+09	1,61E+09	8,22E+08
	95%	5,79E+09	2,96E+09	1,51E+09	7,75E+08
	90%	5,42E+09	2,77E+09	1,42E+09	7,29E+08
	85%	5,04E+09	2,59E+09	1,33E+09	6,82E+08
	80%	4,67E+09	2,40E+09	1,24E+09	6,36E+08
	75%	4,30E+09	2,22E+09	1,14E+09	5,89E+08
	70%	3,93E+09	2,03E+09	1,05E+09	5,43E+08
	65%	3,56E+09	1,85E+09	9,57E+08	4,96E+08
	60%	3,19E+09	1,66E+09	8,64E+08	4,50E+08
	55%	2,82E+09	1,47E+09	7,71E+08	4,03E+08
	50%	2,45E+09	1,29E+09	6,78E+08	3,57E+08

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Tabelle 41: Ermittlung N_{zul} – Bautyp AS2_T2

Temperaturzone II			
Trennline "exponentiell"		y = a*e^(b*x)	
AS1	Struktur	a	b
"+4cm"	100%	586120,88	0,2349
	50%	391596,13	0,2213
"+10cm"	100%	3610344,10	0,2143
	50%	2737719,84	0,2016

y = a*e^(b*x)		Asphaltdicke x - 4 [cm]			
		LK163	LK83	LK42	LK25
AS1	Struktur	27	25	23	21
"+4cm"	100%	3,33E+08	2,08E+08	1,30E+08	8,13E+07
	50%	1,54E+08	9,90E+07	6,36E+07	4,08E+07
"+10cm"	100%	1,18E+09	7,66E+08	4,99E+08	3,25E+08
	50%	6,33E+08	4,23E+08	2,83E+08	1,89E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
4 cm	100%	3,33E+08	2,08E+08	1,30E+08	8,13E+07
	95%	3,15E+08	1,97E+08	1,23E+08	7,73E+07
	90%	2,97E+08	1,86E+08	1,17E+08	7,32E+07
	85%	2,79E+08	1,75E+08	1,10E+08	6,92E+07
	80%	2,61E+08	1,64E+08	1,04E+08	6,51E+07
	75%	2,44E+08	1,54E+08	9,69E+07	6,11E+07
	70%	2,26E+08	1,43E+08	9,02E+07	5,70E+07
	65%	2,08E+08	1,32E+08	8,35E+07	5,30E+07
	60%	1,90E+08	1,21E+08	7,69E+07	4,89E+07
	55%	1,72E+08	1,10E+08	7,02E+07	4,49E+07
	50%	1,54E+08	9,90E+07	6,36E+07	4,08E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
6 cm	100%	5,07E+08	3,21E+08	2,04E+08	1,29E+08
	95%	4,81E+08	3,05E+08	1,94E+08	1,23E+08
	90%	4,55E+08	2,89E+08	1,84E+08	1,17E+08
	85%	4,29E+08	2,73E+08	1,74E+08	1,11E+08
	80%	4,03E+08	2,57E+08	1,64E+08	1,05E+08
	75%	3,77E+08	2,41E+08	1,54E+08	9,86E+07
	70%	3,51E+08	2,25E+08	1,44E+08	9,25E+07
	65%	3,25E+08	2,09E+08	1,34E+08	8,64E+07
	60%	2,99E+08	1,93E+08	1,24E+08	8,03E+07
	55%	2,73E+08	1,77E+08	1,14E+08	7,42E+07
	50%	2,47E+08	1,61E+08	1,05E+08	6,80E+07

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

		LK163	LK83	LK42	LK25
7 cm	100%	6,26E+08	3,99E+08	2,55E+08	1,63E+08
	95%	5,95E+08	3,80E+08	2,43E+08	1,55E+08
	90%	5,63E+08	3,60E+08	2,31E+08	1,48E+08
	85%	5,32E+08	3,41E+08	2,19E+08	1,40E+08
	80%	5,01E+08	3,22E+08	2,07E+08	1,33E+08
	75%	4,69E+08	3,02E+08	1,95E+08	1,25E+08
	70%	4,38E+08	2,83E+08	1,82E+08	1,18E+08
	65%	4,07E+08	2,63E+08	1,70E+08	1,10E+08
	60%	3,75E+08	2,44E+08	1,58E+08	1,03E+08
	55%	3,44E+08	2,24E+08	1,46E+08	9,53E+07
	50%	3,12E+08	2,05E+08	1,34E+08	8,78E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
8 cm	100%	7,72E+08	4,96E+08	3,19E+08	2,05E+08
	95%	7,35E+08	4,73E+08	3,04E+08	1,96E+08
	90%	6,97E+08	4,49E+08	2,90E+08	1,87E+08
	85%	6,59E+08	4,26E+08	2,75E+08	1,77E+08
	80%	6,22E+08	4,02E+08	2,60E+08	1,68E+08
	75%	5,84E+08	3,79E+08	2,45E+08	1,59E+08
	70%	5,46E+08	3,55E+08	2,31E+08	1,50E+08
	65%	5,09E+08	3,31E+08	2,16E+08	1,41E+08
	60%	4,71E+08	3,08E+08	2,01E+08	1,32E+08
	55%	4,33E+08	2,84E+08	1,87E+08	1,23E+08
	50%	3,95E+08	2,61E+08	1,72E+08	1,13E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
10 cm	100%	1,18E+09	7,66E+08	4,99E+08	3,25E+08
	95%	1,12E+09	7,32E+08	4,77E+08	3,11E+08
	90%	1,07E+09	6,97E+08	4,56E+08	2,98E+08
	85%	1,01E+09	6,63E+08	4,34E+08	2,84E+08
	80%	9,59E+08	6,29E+08	4,12E+08	2,71E+08
	75%	9,04E+08	5,94E+08	3,91E+08	2,57E+08
	70%	8,50E+08	5,60E+08	3,69E+08	2,43E+08
	65%	7,96E+08	5,26E+08	3,48E+08	2,30E+08
	60%	7,42E+08	4,92E+08	3,26E+08	2,16E+08
	55%	6,87E+08	4,57E+08	3,04E+08	2,02E+08
	50%	6,33E+08	4,23E+08	2,83E+08	1,89E+08

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

9.2.3 Bautyp AS4

Tabelle 42: Ermittlung N_{zul} – Bautyp AS4_T1

Temperaturzone I			
Trennline "exponentiell"		y = a*e^(b*x)	
AS1	Struktur	a	b
"+4cm"	100%	4049938,27	0,1872
	50%	3259431,31	0,1703
"+10cm"	100%	16336297,30	0,1622
	50%	10094660,70	0,1636

y = a*e^(b*x)		Asphaltdicke x -4 [cm]			
		LK163	LK83	LK42	LK25
AS1	Struktur	27	25	23	21
"+4cm"	100%	6,35E+08	4,36E+08	3,00E+08	2,06E+08
	50%	3,24E+08	2,30E+08	1,64E+08	1,16E+08
"+10cm"	100%	1,30E+09	9,42E+08	6,81E+08	4,93E+08
	50%	8,36E+08	6,03E+08	4,35E+08	3,13E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
4 cm	100%	6,35E+08	4,36E+08	3,00E+08	2,06E+08
	95%	6,04E+08	4,16E+08	2,87E+08	1,97E+08
	90%	5,72E+08	3,95E+08	2,73E+08	1,88E+08
	85%	5,41E+08	3,75E+08	2,59E+08	1,79E+08
	80%	5,10E+08	3,54E+08	2,46E+08	1,70E+08
	75%	4,79E+08	3,33E+08	2,32E+08	1,61E+08
	70%	4,48E+08	3,13E+08	2,18E+08	1,52E+08
	65%	4,17E+08	2,92E+08	2,05E+08	1,43E+08
	60%	3,86E+08	2,71E+08	1,91E+08	1,34E+08
	55%	3,55E+08	2,51E+08	1,77E+08	1,25E+08
	50%	3,24E+08	2,30E+08	1,64E+08	1,16E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
6 cm	100%	8,07E+08	5,64E+08	3,94E+08	2,76E+08
	95%	7,71E+08	5,40E+08	3,78E+08	2,64E+08
	90%	7,35E+08	5,15E+08	3,61E+08	2,53E+08
	85%	6,99E+08	4,90E+08	3,44E+08	2,42E+08
	80%	6,62E+08	4,66E+08	3,28E+08	2,30E+08
	75%	6,26E+08	4,41E+08	3,11E+08	2,19E+08
	70%	5,90E+08	4,16E+08	2,94E+08	2,08E+08
	65%	5,54E+08	3,92E+08	2,77E+08	1,96E+08
	60%	5,17E+08	3,67E+08	2,60E+08	1,85E+08
	55%	4,81E+08	3,42E+08	2,44E+08	1,73E+08
	50%	4,44E+08	3,17E+08	2,27E+08	1,62E+08

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

		LK163	LK83	LK42	LK25
7 cm	100%	9,10E+08	6,41E+08	4,52E+08	3,19E+08
	95%	8,71E+08	6,15E+08	4,34E+08	3,06E+08
	90%	8,32E+08	5,88E+08	4,15E+08	2,93E+08
	85%	7,94E+08	5,61E+08	3,97E+08	2,81E+08
	80%	7,55E+08	5,34E+08	3,78E+08	2,68E+08
	75%	7,16E+08	5,08E+08	3,60E+08	2,55E+08
	70%	6,77E+08	4,81E+08	3,41E+08	2,42E+08
	65%	6,38E+08	4,54E+08	3,23E+08	2,30E+08
	60%	5,99E+08	4,27E+08	3,04E+08	2,17E+08
	55%	5,60E+08	4,00E+08	2,85E+08	2,04E+08
	50%	5,20E+08	3,73E+08	2,67E+08	1,91E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
8 cm	100%	1,03E+09	7,29E+08	5,18E+08	3,69E+08
	95%	9,84E+08	7,00E+08	4,98E+08	3,54E+08
	90%	9,43E+08	6,71E+08	4,78E+08	3,40E+08
	85%	9,02E+08	6,42E+08	4,57E+08	3,26E+08
	80%	8,60E+08	6,13E+08	4,37E+08	3,11E+08
	75%	8,19E+08	5,84E+08	4,16E+08	2,97E+08
	70%	7,77E+08	5,55E+08	3,96E+08	2,83E+08
	65%	7,35E+08	5,25E+08	3,76E+08	2,68E+08
	60%	6,94E+08	4,96E+08	3,55E+08	2,54E+08
	55%	6,52E+08	4,67E+08	3,35E+08	2,40E+08
	50%	6,10E+08	4,37E+08	3,14E+08	2,25E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
10 cm	100%	1,30E+09	9,42E+08	6,81E+08	4,93E+08
	95%	1,26E+09	9,08E+08	6,57E+08	4,75E+08
	90%	1,21E+09	8,75E+08	6,32E+08	4,57E+08
	85%	1,16E+09	8,41E+08	6,07E+08	4,39E+08
	80%	1,12E+09	8,07E+08	5,83E+08	4,21E+08
	75%	1,07E+09	7,73E+08	5,58E+08	4,03E+08
	70%	1,02E+09	7,39E+08	5,33E+08	3,85E+08
	65%	9,77E+08	7,05E+08	5,09E+08	3,67E+08
	60%	9,30E+08	6,71E+08	4,84E+08	3,49E+08
	55%	8,83E+08	6,37E+08	4,59E+08	3,31E+08
	50%	8,36E+08	6,03E+08	4,35E+08	3,13E+08

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Tabelle 43: Ermittlung N_{zul} – Bautyp AS4_T2

Temperaturzone II			
Trennline "exponentiell"		y = a*e^(b*x)	
AS1	Struktur	a	b
"+4cm"	100%	3030807,29	0,1585
	50%	2393667,74	0,1448
"+10cm"	100%	9627799,38	0,1418
	50%	7892823,64	0,13

y = a*e^(b*x)		Asphaltdicke x - 4 [cm]			
		LK163	LK83	LK42	LK25
AS1	Struktur	27	25	23	21
"+4cm"	100%	2,19E+08	1,59E+08	1,16E+08	8,45E+07
	50%	1,19E+08	8,94E+07	6,69E+07	5,01E+07
"+10cm"	100%	4,43E+08	3,34E+08	2,51E+08	1,89E+08
	50%	2,64E+08	2,04E+08	1,57E+08	1,21E+08

		LK163	LK83	LK42	LK25
4 cm	100%	2,19E+08	1,59E+08	1,16E+08	8,45E+07
	95%	2,09E+08	1,52E+08	1,11E+08	8,11E+07
	90%	1,99E+08	1,45E+08	1,06E+08	7,77E+07
	85%	1,89E+08	1,38E+08	1,01E+08	7,42E+07
	80%	1,79E+08	1,31E+08	9,64E+07	7,08E+07
	75%	1,69E+08	1,24E+08	9,15E+07	6,73E+07
	70%	1,59E+08	1,17E+08	8,66E+07	6,39E+07
	65%	1,49E+08	1,10E+08	8,17E+07	6,04E+07
	60%	1,39E+08	1,03E+08	7,67E+07	5,70E+07
	55%	1,29E+08	9,64E+07	7,18E+07	5,35E+07
	50%	1,19E+08	8,94E+07	6,69E+07	5,01E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
6 cm	100%	2,77E+08	2,04E+08	1,50E+08	1,11E+08
	95%	2,65E+08	1,95E+08	1,44E+08	1,06E+08
	90%	2,53E+08	1,87E+08	1,38E+08	1,02E+08
	85%	2,40E+08	1,78E+08	1,32E+08	9,76E+07
	80%	2,28E+08	1,69E+08	1,26E+08	9,32E+07
	75%	2,16E+08	1,61E+08	1,20E+08	8,89E+07
	70%	2,04E+08	1,52E+08	1,13E+08	8,46E+07
	65%	1,92E+08	1,43E+08	1,07E+08	8,02E+07
	60%	1,80E+08	1,35E+08	1,01E+08	7,59E+07
	55%	1,68E+08	1,26E+08	9,50E+07	7,15E+07
	50%	1,56E+08	1,18E+08	8,89E+07	6,72E+07

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

		LK163	LK83	LK42	LK25
7 cm	100%	3,11E+08	2,31E+08	1,71E+08	1,26E+08
	95%	2,98E+08	2,21E+08	1,64E+08	1,22E+08
	90%	2,85E+08	2,11E+08	1,57E+08	1,17E+08
	85%	2,71E+08	2,02E+08	1,50E+08	1,12E+08
	80%	2,58E+08	1,92E+08	1,43E+08	1,07E+08
	75%	2,44E+08	1,83E+08	1,37E+08	1,02E+08
	70%	2,31E+08	1,73E+08	1,30E+08	9,73E+07
	65%	2,18E+08	1,64E+08	1,23E+08	9,24E+07
	60%	2,04E+08	1,54E+08	1,16E+08	8,76E+07
	55%	1,91E+08	1,44E+08	1,09E+08	8,27E+07
	50%	1,78E+08	1,35E+08	1,02E+08	7,79E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
8 cm	100%	3,50E+08	2,61E+08	1,94E+08	1,45E+08
	95%	3,35E+08	2,50E+08	1,87E+08	1,39E+08
	90%	3,21E+08	2,40E+08	1,79E+08	1,34E+08
	85%	3,06E+08	2,29E+08	1,71E+08	1,28E+08
	80%	2,91E+08	2,18E+08	1,64E+08	1,23E+08
	75%	2,76E+08	2,08E+08	1,56E+08	1,17E+08
	70%	2,62E+08	1,97E+08	1,49E+08	1,12E+08
	65%	2,47E+08	1,87E+08	1,41E+08	1,07E+08
	60%	2,32E+08	1,76E+08	1,33E+08	1,01E+08
	55%	2,17E+08	1,65E+08	1,26E+08	9,56E+07
	50%	2,03E+08	1,55E+08	1,18E+08	9,02E+07

		LK163	LK83	LK42	LK25
10 cm	100%	4,43E+08	3,34E+08	2,51E+08	1,89E+08
	95%	4,25E+08	3,21E+08	2,42E+08	1,82E+08
	90%	4,07E+08	3,08E+08	2,32E+08	1,76E+08
	85%	3,89E+08	2,95E+08	2,23E+08	1,69E+08
	80%	3,71E+08	2,82E+08	2,13E+08	1,62E+08
	75%	3,53E+08	2,69E+08	2,04E+08	1,55E+08
	70%	3,36E+08	2,56E+08	1,95E+08	1,48E+08
	65%	3,18E+08	2,43E+08	1,85E+08	1,41E+08
	60%	3,00E+08	2,30E+08	1,76E+08	1,35E+08
	55%	2,82E+08	2,17E+08	1,66E+08	1,28E+08
	50%	2,64E+08	2,04E+08	1,57E+08	1,21E+08

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

10 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die hier vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt sowie der Literatur wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Wien, am 21.11.2021

Wolfgang Hasenöhrl

Wolfgang Hasenöhrl

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN