Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

D I P L O M A R B E I T

Master's Thesis

SYSTEMATISCHE ERHALTUNGSPLANUNG FÜR EIN TEILSTÜCK EINER HOCHLEISTUNGSSTRASSE

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

o.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.nat.techn. Johann LITZKA

und

Univ.Ass.Dipl.-Ing. Barbara KUNISCH

Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung,

eingereicht an der Technischen Universität Wien,

Fakultät für Bauingenieurwesen,

von

Veselin Antov

E610/0227091

BULGARIEN; Pernik 2300

´Tvardi livadi` 42/1

Wien, 03.2008 Unterschrift

„Aut inveniam viam, aut faciam“

(Entweder finde ich den Weg, oder baue ich den Weg)

(Unbekannter Autor)

Kurzfassung

Veselin Antov: Systematische Erhaltungsplanung für ein Teilstück einer Hochleistungsstrasse

Die vorliegende Diplomarbeit beschreibt die Grundlage eines Straßenmanagementsystems von einem Teilstück einer Hochleistungsstraße. Im ersten Teil wird ein allgemeiner Überblick über die systematische Erhaltungsplanung, Zustandsmerkmale sowie die Zustandserfassung und Bewertung gegeben.

Der Schwerpunkt bezieht sich auf die Ermittlung einer optimalen Erhaltungsstrategie einer Hochleistungsstrecke mit Hilfe der Analysesoftware VIAPMS™ auf Grund der aktuell erhobenen Informationen (Straßenzustand, Verkehrsbelastung, etc). Der nächste Schritt ist die Berechnung des Erhaltungsplanes, das Festlegen der unterschiedlichen Budgetszenarien und die Analyse des Ergebnisses durch die Software.

Den zweiten Schwerpunkt dieser Arbeit stellt eine Beschreibung des bulgarischen Straßennetzes, eine kurze Information über den Zustand der Autobahnen und die zukünftigen Projekte und ihre Entwicklung dar. Es wurde ein Vergleich zwischen dem Pavement Management System, das derzeit in Österreich von den Straßenverwaltungen verwendet wird, und dem bulgarischen Erhaltungsverfahren gemacht.

Summary

Veselin Antov: Systematic maintenance plan of a part of a highway

This master's thesis contains the basics of a road management system for a section of a high capacity road. The first part describes the physical characteristics and the methodical planning for road maintenance.

The main focus of this thesis is the determination of an optimal strategy for the methodical planning for highway maintenance with the assistance of a computer-assisted pavement management system VIAPMS© on the basis of current information (road condition, traffic load). Furthermore there is the calculation of the maintenance chronology, determination of different kinds of budget scenarios and computer-assisted analysis of results.

The second focus of this thesis is the description of the Bulgarian road network, consisting of information for highway condition determination and future projects and their development. A comparison between pavement management systems which are used in Austria and the methodical planning for road maintenance in Bulgaria has been done.

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich zuerst meinen Dank an o.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.nat.techn. Johann LITZKA aussprechen, für die Möglichkeit meine Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung an der Techische Universität Wien zu schreiben.

Besonderer Dank gilt Univ.Ass.Dipl.-Ing. Barbara KUNISCH für ihre große Geduld und Hilfe, ihre Erfahrung in vielen Gesprächen zur Verfügung zu stellen und mir die Möglichkeit zu geben, mit Hilfe der Analysesoftware VIAPMS^{TM} die Untersuchungsergebnisse aufzubereiten.

Ich möchte mich bei meiner Familie, meinen Eltern Emil und Galina Antovi und meiner Schwester Maria Antova, bedanken. Für ihr Verständnis und ihre Hilfe meinem Vorhaben in Österreich meine Diplomarbeit zu schreiben und für das, dass sie mir in jeder Hinsicht ein Rückhalt waren.

Veselin Antov

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS VI

1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG 8

2. SYSTEMATISCHE ERHALTUNGSPLANUNG – GRUNDLAGEN 9

2.1 Begriffe und Definitionen 9

2.1.1 Betriebliche Straßenerhaltung 10

2.1.2 Bauliche Straßenerhaltung 10

2.1.2.1 Instandhaltung 10

2.1.2.2 Instandsetzung 10

2.1.2.3 Erneuerung 11

2.2 Pavement Management 11

2.2.1 Entscheidungsebenen 12

2.2.1.1 Politikebene - Ebene der politischen Entscheidungen 12

2.2.1.2 Netzebene 12

2.2.1.3 Projektebene 13

2.2.2 Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen 13

2.2.2.1 Reihungsverfahren 13

2.2.2.2 Optimierungsverfahren 14

3. PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM IN ÖSTERREICH 15

3.1 Anwendungsbereiche 15

3.2 Struktur des österreichischen PMS 15

3.2.1 Wesentliche Informationen 16

3.2.2 Querschnittsdaten 16

3.2.3 Verkehrsdaten 17

3.2.4 Aufbaudaten 18

3.2.5 Zustandsdaten 19

3.2.5.1 Griffigkeit 21

3.2.5.2 Unebenheiten 22

3.2.5.3 Spurrinnen 25

3.2.5.4 Risse und Oberflächenschäden 27

3.2.6 Zustandserfassung 33

3.2.6.1 Visuelle Zustandserfassung 33

3.2.6.2 Messtechnische Zustandserfassung 35

3.2.7 Zustandsbewertung 36

3.2.8 Sonstige Daten 40

3.2.8.1 Klimadaten 40

3.2.8.2 Unfalldaten 40

3.2.8.3 Tragfähigkeit 41

3.2.9 Zustandsprognose 43

3.2.10 Maßnahmenkatalog und Budgetszenarien 43

3.2.11 Datenanalyse mit Software VIAPMS™ 44

4. ANWENDUNGSBEISPIEL FÜR EIN TEILSTÜCK EINER HOCHLEISTUNGSSTRASSE 47

4.1 Allgemeines 47

4.2 Querschnittsdaten 47

4.3 Verkehrsdaten 48

4.4 Aufbaudaten 49

4.5 Zustandsdaten 50
4.6 Maßnahmenkatalog 51
4.7 Budgetszenarien 53
4.8 Ergebnisse der Datenanalyse 54
4.8.1 Allgemeines 54
4.8.2 Netzbezogene Ergebnisse 54
4.8.3 Abschnittsbezogene Ergebnisse 66

5. ANWENDBARKEIT DES ÖSTERREICHISCHEN PMS AUF BULGARISCHE VERHÄLTNISSE 70
5.1 Beschreibung des bulgarischen Netzes 70
5.1.1 Allgemeines 70
5.1.2 Autobahnen in Bulgarien 74
5.2 Notwendige Daten für eine Analyse des bulgarischen Straßennetzes 75
5.3 Methoden und Kriterien für die Bewertung des Straßenzustandes in Bulgarien 82

6. ZUSAMMENFASSUNG 87

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 92

LITERATURVERZEICHNIS 95

1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

In den letzten Jahren gewinnt die systematische Erhaltung der Straßeninfrastruktur zunehmend an Bedeutung. Nach der Meinung der Straßenbenützer und Straßenverwaltungen ist der Zustand des Straßennetzes nicht der Beste. Die Ursachen sind einerseits vor allem die zunehmende Verkehrsbelastung durch den Schwerverkehr und andererseits das hohe Alter einer Vielzahl von Straßen. Daher muss man sich Gedanken über die Zukunft des Straßennetzes machen. Das Problem vor dem die Verwaltungen stehen, ist der optimale Einsatz der vorhandenen Finanzmittel. Eine Lösung dieser Aufgabe wurde mit dem Aufbau eines Pavement Management Systems (PMS) entwickelt.

Unter dem Begriff PMS versteht man ein System, das bei der Auswahl von wirtschaftlich und technisch optimalen Erhaltungsmaßnahmen hilft. Dabei werden bei minimalen Kosten ein guter Straßenzustand und eine höchstmögliche Sicherheit erreicht.

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick über die systematische Erhaltungsplanung von einem Teilstück einer Hochleistungsstraße, über die Zustandserfassung und Bewertung und über die Besonderheiten der Zustandserfassung geben. Weiters sollen die Vor- und Nachteile der messtechnischen und visuellen Zustandserfassung, wie auch deren Unterschiede beschrieben werden.

Einer der Schwerpunkte dieser Arbeit soll die Bearbeitung der vorliegenden Grunddaten eines Autobahnabschnittes mit der Analysesoftware VIAPMS^{TM} sein, um mit Hilfe dieses Programms einen Vorschlag für eine optimale Erhaltungslösung zu geben.

Schließlich soll auch generell dargestellt werden, wieweit dieses System auf die Erhaltungsplanung für das hochrangige Straßennetz in Bulgarien angewandt werden kann.

2. SYSTEMATISCHE ERHALTUNGSPLANUNG – GRUNDLAGEN

2.1 Begriffe und Definitionen

Die Straßenerhaltung beschäftigt uns seit vielen Jahren. Sie existiert, seit es Straßen gibt. Mit der Veränderung des Zustands der Straßen im Laufe der Zeit ändern sich die Methoden der Straßenerhaltung. Die Hauptziele der Straßenerhaltung haben den Erfordernissen von Sicherheit und Fahrkomfort zu genügen und mit möglichst geringen Aufwendungen diese optimal zu erfüllen.

SCHMUCK [1] definiert die Straßenerhaltung folgendermaßen:

> *Die Straßenerhaltung umfasst alle Maßnahmen, die der Substanzerhaltung, der Erhaltung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts für den Straßennutzer und ggf. auch der Verbesserung von Umweltbedingungen dienen.*

Die Straßenerhaltung kann nach 2 Hauptpunkten unterschieden werden [2]:

- Betriebliche Straßenerhaltung
- Bauliche Straßenerhaltung

In folgender Abbildung 1 werden die verschiedenen Aufgabengebiete der Straßenerhaltung in ihren zwei Teilbereichen dargestellt.

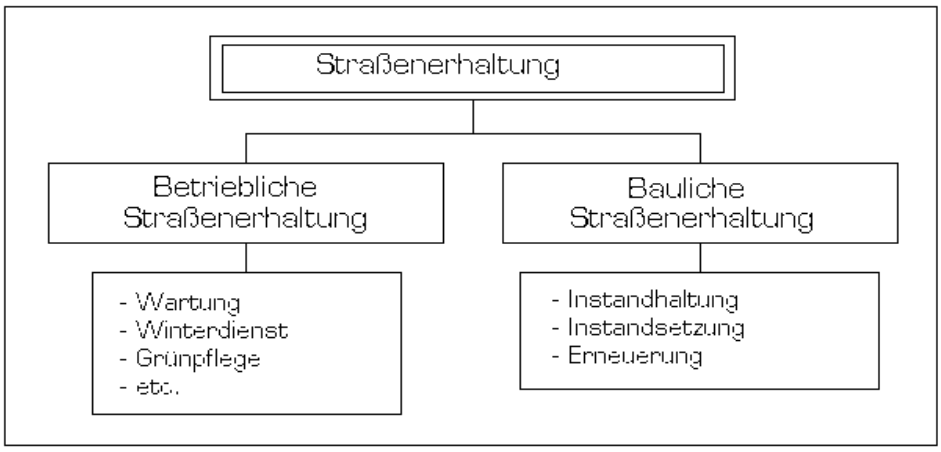


Abbildung 1: Gliederung der Straßenerhaltung [2]

2.1.1 Betriebliche Straßenerhaltung

Die betriebliche Straßenerhaltung umfasst hauptsächlich die Kontrolle und Wartung der Straße. Man kann zur betrieblichen Straßenerhaltung auch den Winterdienst, die Grünpflege und die Reinigung zählen. In Österreich wird für die betriebliche Straßenerhaltung im Regelfall die jeweilige Straßen- und Autobahnmeisterei eingesetzt.

2.1.2 Bauliche Straßenerhaltung

Die bauliche Straßenerhaltung sind laufende oder periodische bauliche Maßnahmen, die der Substanzsicherung, der Erhaltung des Gebrauchswerts für den Straßennutzer und der Umweltverträglichkeit dienen [4].

Die bauliche Straßenerhaltung kann man in folgende Maßnahmekategorien unterscheiden:

- Instandhaltung
- Instandsetzung
- Erneuerung

2.1.2.1 Instandhaltung

Nach RVS 13.01.41 [5] versteht man unter Instandhaltung bauliche Maßnahmen kleineren Umfanges zur Erhaltung der Fahrbahnoberfläche, wie z.B. kleinflächige Oberflächenbehandlung, Verfüllen von Rissen und Schlaglöchern, örtliche Spurrinnensbeseitigungen oder andere Profilierungen.

Instandhaltungsmaßnahmen sind nicht im Voraus geplante Maßnahmen, sondern aus Gründen von einer Notwendigkeit durchgeführte Reparaturen. Sie werden in der Regel von den jeweiligen Straßenmeistereien durchgeführt.

2.1.2.2 Instandsetzung

Instandsetzungsmaßnahmen haben größeren Umfang im Vergleich zu Instandhaltungsmaßnahmen. Sie beziehen sich auf die Deckschicht oder Teile des Straßenoberbaus, meist über die volle Fahrstreifenbreite. Man kann beispielsweise Oberflächenbehandlungen, Spurrinnensbehebungen, den Einbau einer Deckschicht, das Aufbringen von Dünnschichtbelägen und ähnliches hierzu zählen.

Instandsetzungsmaßnahmen sind über einen längeren Zeitraum geplante Maßnahmen. Sie haben ein bestimmtes Budget und werden überwiegend an Firmen vergeben. Instandsetzungsmaßnahmen werden in Österreich derzeit im Rahmen der jährlichen Bauprogramme durchgeführt.

2.1.2.3 Erneuerung

Erneuerungsmaßnahmen sind Maßnahmen zur vollständigen Wiederherstellung des Straßenaufbaues. Erneuerungen müssen über mindestens eine Fahrbahnbreite und größere Abschnittslängen gehen. Als Endprodukt bekommt man eine neuwertige Oberbaukonstruktion. Erneuerungen können im Hoch-, Tiefeinbau oder teilweisen Tiefeinbau erfolgen.

Erneuerungen werden auch über einen längeren Zeitraum geplant und finanziert. Sie werden ausschließlich von beauftragten Firmen durchgeführt.

2.2 Pavement Management

Wird ein Pavement Management System (PMS) verwendet, handelt es sich nach [6] um ein System, das unter Heranziehung einer Straßenzustandsprognose jene Erhaltungsmaßnahmen ermittelt, die unter bestimmten Randbedingungen die wirtschaftlich optimale Lösung darstellen. Pavement Management Systeme führen also eine Analyse der Eigenschaften einer Straßenkonstruktion unter der Annahme bestimmter Erhaltungskriterien durch.

Nach [3] beinhalten Pavement Management Systeme folgende Elemente (siehe Abbildung 2):

- Informationen über das betrachtete (untersuchte) Straßennetz
- Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen
- Ausführung von Maßnahmen und Rückkopplung in den Entscheidungsprozess

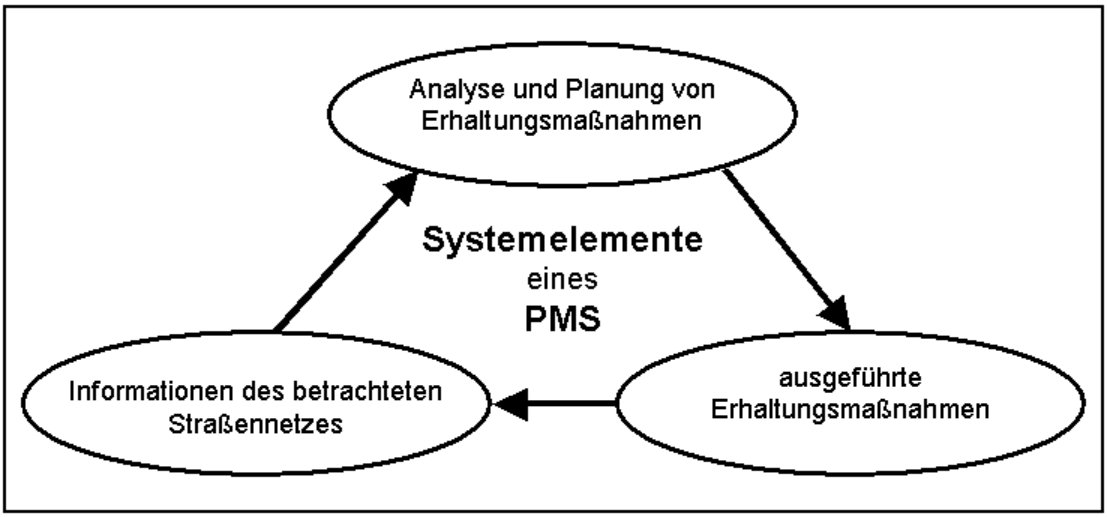


Abbildung 2: Systemelemente des Managementprozess der systematischen Straßenerhaltung [3]

Diese drei Elemente sind die Basis für Pavement Management Systeme. Ihr Zusammenhang ist eine wichtige Voraussetzung für den richtigen Arbeitsablauf des Systems. Die Richtigkeit und die Genauigkeit der überlassenen Informationen sind sehr wichtig für die Bestimmung der exakten Analyse der Erhaltungsmaßnahmen.

Diese Systeme stellen jene Informationen zur Verfügung, die einen Vergleich zwischen dem IST- und dem SOLL-Zustand ermöglichen. Durch die Anwendung verschiedener Erhaltungsstrategien wird der SOLL-Zustand optimal erzielt, mit der Zielsetzung dass der erforderliche Aufwand minimiert werden kann.

2.2.1 Entscheidungsebenen

Nach [3] ist die Entscheidungsebene der Indikator für den Umfang der zu beurteilenden Einflussgrößen. Je nach Zielsetzung unterscheidet man drei Entscheidungsebenen:

- Politikebene
- Netzebene
- Projektebene

Diese Entscheidungsebenen haben auch Einfluss auf den notwendigen Detaillierungsgrad der Informationen.

2.2.1.1 Politikebene - Ebene der politischen Entscheidungen

Diese Ebene teilt das erforderliche Erhaltungsbudget aufgrund der Informationen der darunter liegenden Ebenen (z.B. für eine bestimmte Periode) zu. Man muss einen netzweiten Überblick über den mittleren Straßenzustand oder die Verkehrsbelastung ermöglichen, um Entscheidungen treffen zu können. Die Entscheidungsparameter der Politikebene können auch eine Kombination von technischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten sein.

2.2.1.2 Netzebene

Die Netzebene umfasst mehrere Straßenzüge bzw. das gesamte Straßennetz. Bei dieser Ebene muss der Detaillierungsgrad der Information größer als in der Politikebene sein, um aus verschiedenen Vorschlägen von Erhaltungsstrategien eine Entscheidungen treffen zu können.

Für die Arbeit mit einem PMS auf Netzebene muss jedoch ein Minimum an Informationen vorliegen, die ein deutliches Ergebnis garantieren um eventuelle Entscheidungen zu ermöglichen.

Die folgenden Informationen sollten für die betrachteten Teilbereiche zur Verfügung stehen:

- abschnittsbezogene Informationen des Straßenzustandes
- abschnittsbezogene Informationen des Straßenaufbaus
- abschnittsbezogene Verkehrsinformationen

Für ein PMS wird zumeist nicht nur eine Reihung, sondern auch eine Optimierung durchgeführt, um eine optimierte Erhaltungsstrategie zu gewinnen.

2.2.1.3 Projektebene

Die Projektebene bezieht sich auf einen konkreten Straßenabschnitt oder ein konkretes Erhaltungsprojekt. In diesem Fall ist der geforderte Detaillierungsgrad der Informationen größer als in der Politikebene und in der Netzebene.

2.2.2 Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen

Die Analyse und die Planung von Erhaltungsmaßnahmen sind, neben der Verwaltung von Informationen über den Straßenzustand, die Hauptaufgabe für ein PMS. Auf Grundlage der vorhandenen Information ist die optimale Lösung (Erhaltungsstrategie) zu finden.

Es gibt zwei Verfahrensmethoden, um eine klare Lösung darzustellen:

- Reihungsverfahren
- Optimierungsverfahren

2.2.2.1 Reihungsverfahren

Das Reihungsverfahren ist das einfachere Verfahren der oberen angeführten zwei Methoden. Die Darstellung der Lösungen erfolgt in Form einer Reihung der betrachteten Abschnitte. Es wird hierbei keine spezielle Prognose über die Entwicklung des Straßenzustandes gemacht. Die Erhaltungsmaßnahmen (Instandsetzung und Erneuerung) werden in jenen Straßenabschnitten, wo sie erforderlich sind, angesetzt und die Kosten jeder einzelnen Erhaltung werden summiert, um am Ende die Gesamtkosten zu bekommen.

Nach [3] kann man in Abhängigkeit vom Detaillierungsgrad der vorhandenen Information folgende Reihungsmethoden anwenden:

- Einfache subjektive Reihung: Die Reihung erfolgt nach einer subjektiven Beurteilung der einzelnen Abschnitte durch den Erhaltungsingenieur.
- Reihung nach technischen Kriterien: Die Reihung erfolgt nach einer objektiven Bewertung der Straßenmerkmale oder Zustandskriterien.
- Reihung nach wirtschaftlichen Kriterien: Die Reihung erfolgt nach Parametern des Straßenoberbaus (technischen Kriterien), es können auch wirtschaftliche Überlegungen (z.B. Nutzen-Kosten-Untersuchungen) in die Untersuchung eingehen.

Nach [3] kann man das Reihungsverfahren in eine einjährige Reihung und eine mehrjährige Reihung unterteilen. Man benutzt die einjährige Reihung, wenn das Erhaltungsbudget nur für ein Jahr vorhanden ist und eventuell bei geringerer Verkehrsbelastung. Die mehrjährige Reihung ist über eine längere Zeitperiode und bei überregionalen Straßen durchzuführen.

Es ist nicht immer sicher, dass mit Hilfe des Reihungsverfahrens eine optimale Lösung gewonnen werden kann.

2.2.2.2 Optimierungsverfahren

Nach [3] kann das Optimierungsverfahren als eine Kombination aller möglichen Erhaltungsvarianten unter bestimmten Randbedingungen angesehen werden. Ziel ist es, diejenige Lösung zu finden, bei der ein Parameter zum Optimum wird. Aus diesem Grund ist eine Prognose des Straßenzustandes erforderlich. Als Optimierungsparameter können der Straßenzustand, die Nutzerkosten, die Gesamtkosten, etc. herangezogen werden. Optimierungsverfahren arbeiten folgendermaßen:

- Entwicklung einer Liste aller möglicher Erhaltungsmaßnahmen für jeden Straßenabschnitt
- Berechnung des Optimierungsparameters für alle möglichen Varianten von Erhaltungsmaßnahmen
- Auswahl jener Erhaltungsstrategie, bei welcher der Optimierungsparameter zum Minimum bzw. Maximum wird

Das Optimierungsverfahren ist für einen mehrjährigen Betrachtungszeitraum gültig und soll für hochbelastete Straßen benutzt werden.

Pavement Management Systeme, die mit Optimierungsverfahren arbeiten, kann man als „Moderne Pavement Management Systeme“ bezeichnen.

3. PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM IN ÖSTERREICH

3.1 Anwendungsbereiche

Die ersten Schritte einer systematischen Straßenerhaltung wurden in Österreich schon vor mehr als 30 Jahren unternommen. Mit der Steigerung der Verkehrsbelastung in den letzten Jahren hat die Straßenerhaltung eine große Bedeutung erhalten.

Aus diesem Grund wurde im Jahr 1998 durch die ASFINAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) in Österreich ein Pavement Management System (kurz PMS) eingesetzt [3,6]. Dieses System beschäftigt sich mit der Erhaltung der Oberbaukonstruktion sowie auch der Bauwerke (Brücken, Tunnel, Stützkonstruktionen, etc.).

In Österreich erfolgte 1999 im Rahmen eines Pilotprojekts der erste praktische Einsatz dieses Systems. Es ist notwendig, PMS-Modelle jährlich weiter zu entwickeln und zu verbessern. Das Hauptziel ist eine Vereinheitlichung der systematischen Straßenerhaltung, um sowohl die Effizienz der Erhaltungsstrategie zu verbessern und um eine gerechtere Mittelaufteilung des Anteils der baulichen Erhaltung an den gesamten Straßenbauinvestitionen zu ermöglichen [6].

Für die bessere Bearbeitung der oberbauspezifischen Informationen werden in Österreich alle erhaltungsrelevanten Daten in VIAPMS (alter Name VIABASE AUSTRIA) integriert. Die Erstellung der benötigten Datenbank und die Durchführung der Analyse erfolgen mit der aus Kanada stammenden Software VIAPMS©, die durch das Institut für Straßebau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien (ISTU) konfiguriert wurde und trägt die Bezeichnung VIAPMS_AUSTRIA [13].

3.2 Struktur des österreichischen PMS

Die Entwicklung der Struktur des österreichischen Pavement Management Systems bezieht sich auf folgende Elemente eines Modernen PM-Systems [3].

- Datenbank zur Speicherung der Daten
- Modelle des PMS (Zustandsprognosemodelle, Kostenmodelle, etc.)
- Randbedingungen für die Datenanalyse (Maßnahmenkatalog, Budgetvorgaben, etc.)
- Analysesystem für die Durchführung der Optimierungsaufgaben
- Darstellung der Analyseergebnisse

Eine Beschreibung der Struktur des PMS kann den nachfolgenden Punkten entnommen werden.

3.2.1 Wesentliche Informationen

Als Grundlage für ein PMS werden nach [3] unterschiedliche Informationen herangezogen, die auch die entsprechende Qualität der weiterführenden Berechnungen gewährleisten. Die Erfassung dieser Informationen erfolgt auf Basis von unterschiedlichen Regelungen und Vorgaben, die teilweise im Zuge der Implementierung des PMS entwickelt wurden.

In Österreich stehen folgende grundlegenden Informationen zur Verfügung:

- Informationen über das Straßennetz
- Informationen über die Verkehrsbelastung
- Informationen über den Straßenaufbau
- Informationen über den Straßenzustand
- Informationen über das Klima

Jedes moderne Pavement Management System speichert diese erhaltungsrelevanten Daten in einer elektronischen Datenbank.

3.2.2 Querschnittsdaten

Nach [3] wird der Querschnitt beschrieben durch

- Breite der Straßenkrone
- Fahrbahnbreite
- Fahrflächenbreite
- Fahrstreifenbreiten
- Anzahl der Fahrstreifen
- Breite des Banketts und eventuell vorhandener Böschungen
- Querneigung

Nach [7] erfolgt die Erfassung der Querschnittsdaten

- aus Katasterplänen, Planungsunterlagen,
- durch manuelle Erhebung,
- aus Videoaufzeichnungen oder
- entsprechend der Regelquerschnitte.

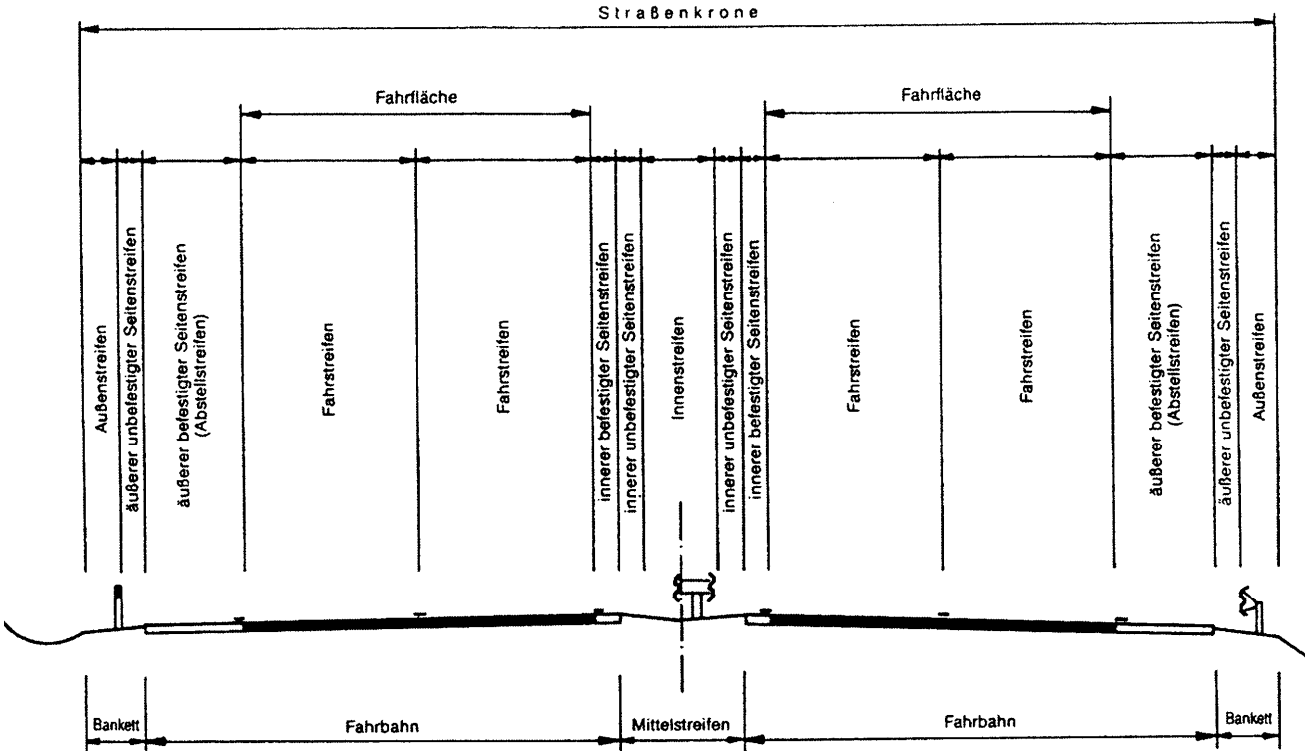


Abbildung 3: Querschnittselemente [16]

In Abbildung 3 werden die Querschnittselemente einer vierstreifigen Straße dargestellt. Die Breite der Straßenkrone umfasst die Fahrbahnen in beide Fahrtrichtungen mit der Breite der Bankette. Die Fahrbahnbreite umfasst die beiden Fahrstreifen in eine Fahrtrichtung mit äußerer befestigten Seitenstreifen. Die beiden Fahrstreifen bilden die Fahrflächenbreite. Die Anzahl der Fahrstreifen hängt vom Typ der Autobahn ab (Zweifahrstreifen in einer Richtung, Dreifahrstreifen in einer Richtung, etc.). Die Breite des Banketts ist für die Autobahn normiert (Minimum 1,5), wie auch die Querneigung (Minimum 2,5 %).

3.2.3 Verkehrsdaten

In Österreich sind nach [3] die Ergebnisse von zwei Arten von Verkehrszählungen vorhanden:

- Bundesweite händische Verkehrszählung

  Diese Verkehrszählung wird in einem Abstand von fünf Jahren durchgeführt. Man kann in folgende Fahrzeugkategorien differenzieren:

  - einspurige Fahrzeuge
  - Personenkraftwagen
  - Autobusse und Omnibusse

- Lieferwagen
- Lastkraftwagen mit Anhänger
- Sonstiger Güterverkehr
- Spezialfahrzeuge

Die Verkehrszählung wird in Form von Querschnittszählungen durchgeführt, somit können auch Verkehrsbelastungen für diesen Querschnitt bestimmt werden.

- Automatische Verkehrszählungen an hochbelasteten Straßen

  Diese Verkehrszählung erfolgt kontinuierlich an fixierten Zählstellen auf dem hochbelasteten Straßennetz. Im Gegensatz zu den händischen Verkehrszählungen erfolgen Auswertungen nach folgenden Gruppen (sofern die Zählstelle für LKW-Unterscheidungen ausgerüstet ist):

  - Anzahl KFZ
  - Anzahl LKW, welche aufgrund der automatischen Fahrzeugartenunterscheidung als LKW-ähnlich erkannt wurden
  - Anzahl SLz, welche aufgrund der automatischen Fahrzeugartenunterscheidung als Sattel- oder Lastzüge erkannt wurden
  - Anzahl PAB, welche aufgrund der automatischen Fahrzeugartenunterscheidung als Personenkraftwagen mit Anhänger oder Autobus erkannt wurden

3.2.4 Aufbaudaten

Die Straßenaufbaudaten enthalten Informationen über Bauart, Dicke, Material und Einbaujahr der einzelnen Ober- und eventuell Unterbauschichten. Jede Schicht soll aufgrund der zu erwartenden Beanspruchung auch entsprechende Anforderungen erfüllen. Die Beanspruchung der Deckschicht bezieht sich in erster Linie auf Verformung und Verschleiß, die Aufgabe der darunter liegenden Schichten ist der Abtrag der Verkehrslasten in den Untergrund.

Nach [8] liegt folgender Schichtaufbau der Dimensionierung von Straßenaufbauten zugrunde:

- Deckschicht
- Gebundene Tragschicht
- Ungebundene Tragschicht
- Untergrund

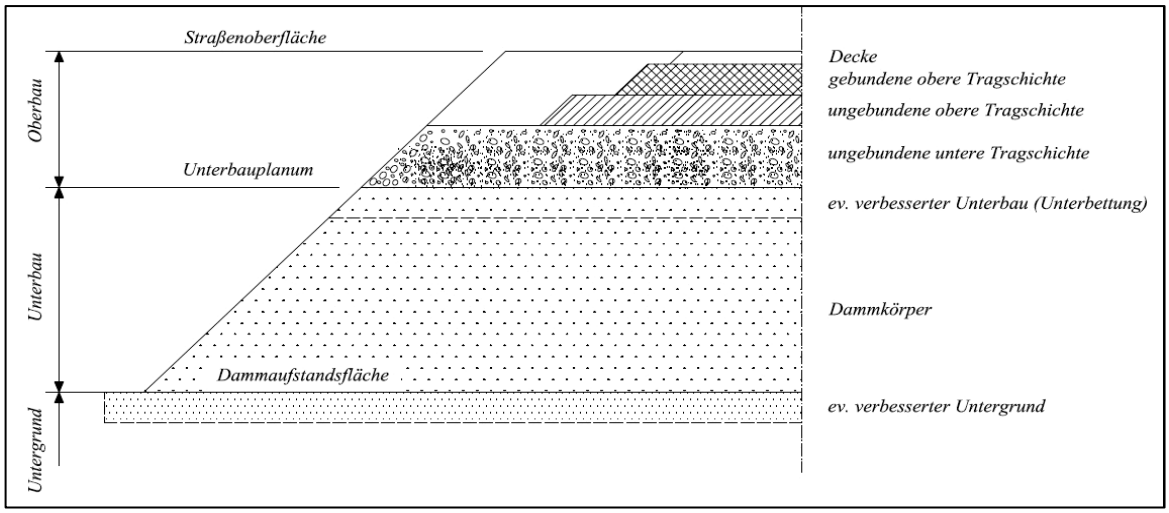


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Straßenaufbaus im Dammbereich [8]

In Abbildung 4 wird eine Systemskizze des Straßenaufbaus dargestellt. Von Interesse ist besonders der Oberbau mit vier Schichten, die bestimmte Anforderungen haben. Die (bituminöse) Deckschicht muss einen hohen Verformungswiderstand und hohe Griffigkeit haben. Die obere Tragschicht besteht in der Regel aus gebundenem Material und hat die Aufgabe, die Verteilung der Lasten auf der die Unterlage vorzunehmen. Die untere Tragschicht besteht aus hochwertigem ungebundenem Material.

Nach [3] werden für jede Oberbauschicht folgende Kennzeichen erfasst:

- Art der Schicht (Deckschicht, Tragschicht, etc.)
- Material der Schicht (Asphaltbeton, Beton, etc.)
- Dicke der Schicht in [cm]
- Herstellungsjahr der Schicht

Diese Information wird im Laufe der Zeit aktualisiert, um eine Aussage über den Aufbau des Oberbaus zu ermöglichen. Bei jeder Maßnahme werden neue Daten eingetragen.

3.2.5 Zustandsdaten

Maßgeblichen Einfluss auf den Zustand einer Straße haben die Verkehrsbelastung und der Schichtaufbau.

Nach [7] wirken auf den Straßenaufbau endogene und exogene Einflussfaktoren, die die Struktur der Befestigung und somit den Zustand verändern.

In folgender Abbildung 5 werden die wichtigsten Informationen dargestellt, die zur Beschreibung der Eigenschaften einer Oberbaukonstruktion dienen. Nicht alle Daten

aber können explizit ins PMS Eingang finden, wie zum Beispiel Einbaubedingungen und –technologie oder Baufehler.

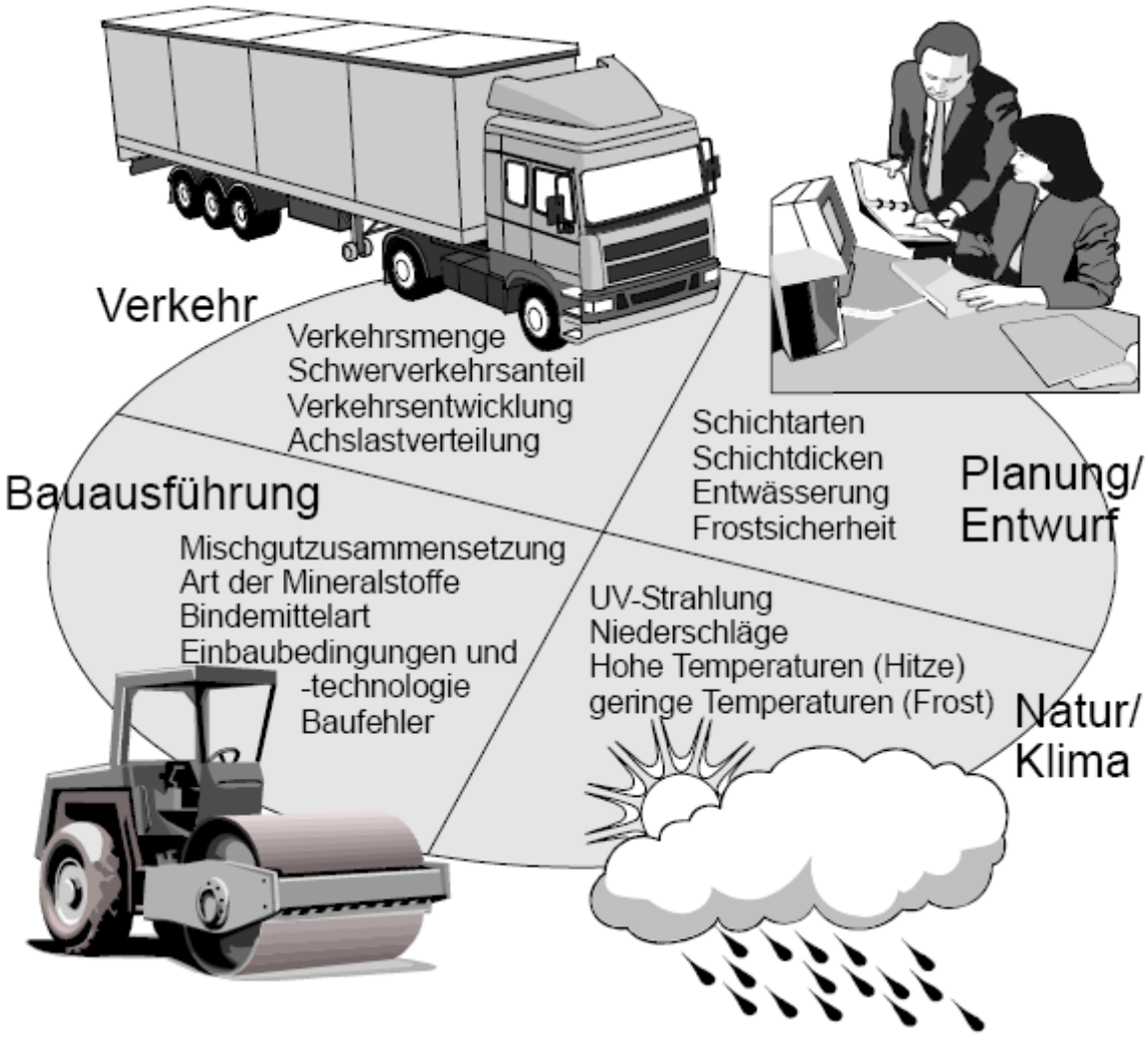


Abbildung 5: Einflussfaktoren auf den Zustand einer Straße [7]

Der Zustand einer Straßenbefestigung kann nach „Grundmerkmalen“ und „abgeleiteten Merkmalen“ unterteilt werden. Die Merkmale der ersten Gruppe werden alleine durch einen bestimmten Zustand beschrieben, das heißt unabhängig von äußeren Einflüssen (Rauheit, Risse, Schlaglöchern, Abrieb, etc). Die „abgeleiteten Merkmale“ entstehen durch das Zusammenwirken von Fahrzeugeigenschaften (Bereifung, Beleuchtung, Federung u.a.) und Klimagegebenheiten (Niederschläge, Temperatur).

Die Schäden bedeuten eine Veränderung der Eigenschaften eines Teilabschnitts oder des gesamten Bauwerks Straße in Form einer Verschlechterung. Dabei können diese entweder erkennbar (von außen, durch Augenschein) oder nicht erkennbar sein [3].

Nach [7] ist das Auftreten von einzelnen Schadensmerkmalen an Straßen abhängig von der vorhandenen Befestigungsart.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Auswirkungen von Zustandsmerkmalen:

Tabelle 1: Bewertungskriterien [2]

AUSWIRKUNG / KRITERIUM	SICHERHEIT	KOMFORT	LEISTUNGSFÄHIGKEIT	LEBENSDAUER
LINIENFÜHRUNG	X	X	X	-
QUERSCHNITTSAUSBILDUG	X	X	X	-
GRIFFIGKEIT	X	-	-	-
LÄNGSEBENHEIT	X	X	-	X
QUEREBENHEIT	X	X	-	X
TRAGFÄHIGKEIT	-	-	-	X
OBERFLÄCHENSCHÄDEN	X	X	-	X

Es werden folgende Zustandsmerkmale im Österreichischen PMS berücksichtigt.

3.2.5.1 Griffigkeit

Die Griffigkeit ist ein wesentliches Kriterium für die Verkehrssicherheit. Ein Kraftfahrzeug kann nur dann sicher auf der Straße bewegt werden, wenn eine ausreichende Griffigkeit, vor allem bei Nässe, vorhanden ist.

Nach [14] können die Einflussparameter auf die Griffigkeit von Verkehrsflächen in vier Gruppen eingeteilt werden:

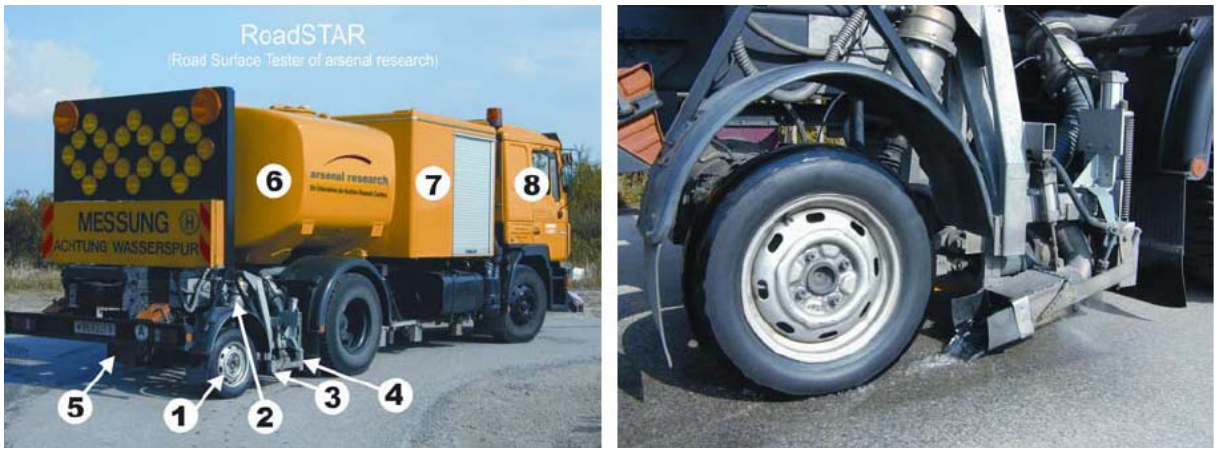
- Einflüsse des Reifens: Profilart, Profiltiefe, Schlupf, Gummizusammensetzung, etc.
- Einflüsse der Straße: Oberflächentextur (Makro- und Mikrotextur), Polierfähigkeit, Deckenbauart
- Einflüsse des Fahrzeuges: Geschwindigkeit, Radlast, Radstellung, Radlastschwankungen
- Einflüsse des Zwischenmediums: Wasserfilm, Eis, Schnee, Schmutzfilm, etc.

Die Griffigkeit wird durch den Reibungsbeiwert μ physikalisch quantifiziert, der das Verhältnis zwischen den übertragenen Horizontalkräften und den gleichzeitig wirkenden Normalkräften ist.

In Österreich wird die Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche mit der Griffigkeitsmesseinrichtung „Stuttgarter Reibungsmesser“ (STURM) des Hochleistungsmesssystems RoadSTAR erfasst.

Mit dem RoadSTAR können unterschiedliche Bremszustände simuliert und untersucht werden. Bei den Griffigkeitsmessungen sind Wasserfilmdicken zwischen 0,5 mm und 2 mm und Messgeschwindigkeiten zwischen 40 und 120 km/h vorwählbar [11].

Das Messgerät befindet sich am Heck des RoadSTARs (siehe Abbildung 6). Es ist so montiert, dass es in Kurven ohne Seitenkräfte mitläuft. Durch die druckluftgesteuerte Belastungseinheit und durch die zusätzliche Erfassung der aktuellen Radlasten kann eine gleichmäßige Einhaltung der Radlast erzielt werden [11].



① Messrad inkl. Bremsmomenterfassung
② Belastungszylinder
③ Bewässerungseinheit
④ Vorbewässerung
⑤ Getriebe zur Erzeugung von 18 % Schlupf
⑥ Wassertank
⑦ Geräteaufbewahrung
⑧ Fahrerkabine, digitale Messwerterfassung

Abbildung 6: RoadSTAR [11]

3.2.5.2 Unebenheiten

Hier geht es hauptsächlich um die Längsebenheit. Dieses Merkmal ist für den Fahrkomfort und für die Fahrsicherheit von sehr großer Bedeutung. Durch Längsunebenheiten ergeben sich dynamische Radlasterhöhungen, die zu einer zusätzlichen Beanspruchung des Straßenoberbaus führen. Die kontinuierliche Messung der Längsebenheit mit dem RoadSTAR erfolgt mithilfe eines im Bereich der rechten Radspur am RoadSTAR angebrachten Messbalken mit vier Lasersensoren (siehe Abbildung 7).

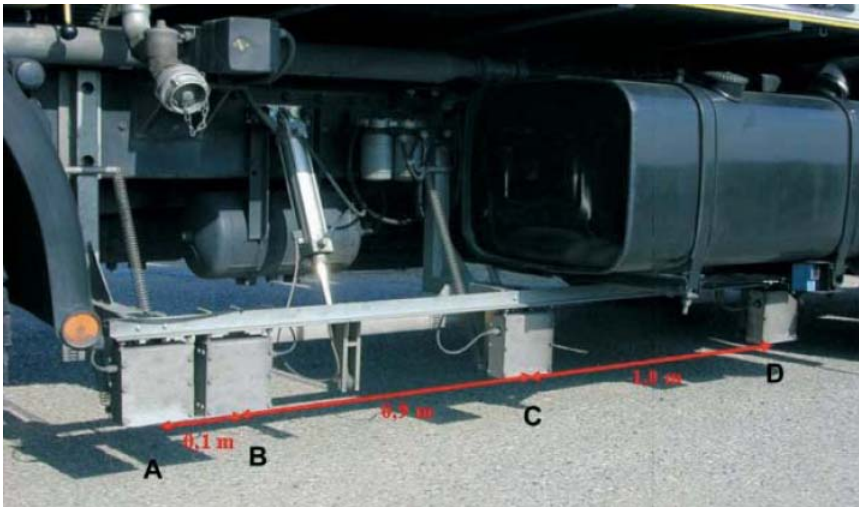


Abbildung 7: Lasersensoren am RoadSTAR für die Erfassung der Längsebenheit [18]

Aus den Sensoren A, C und D wird das symmetrische System, aus den Sensoren A, B und D das asymmetrische System gebildet. Vom ersten System werden die größeren Wellenlängen ca. 10 m erfasst, vom asymmetrischen System die kürzeren Wellenlängen.

Die Berechnung des wahren Längsprofils erfolgt gemäß dem Profilometer-Verfahren. Standardmäßig wird in Österreich der International Roughness Index (IRI) verwendet. In Deutschland werden AUN (Allgemeiner Unebenheitswert) und LWI (Längsebenheitswirkindex) herangezogen, in Frankreich verwendet man die WBA (Wave Band Analysis) [18].

In Abbildung 8 werden Unebenheiten in Längsrichtung an bituminösen Befestigungen dargestellt:

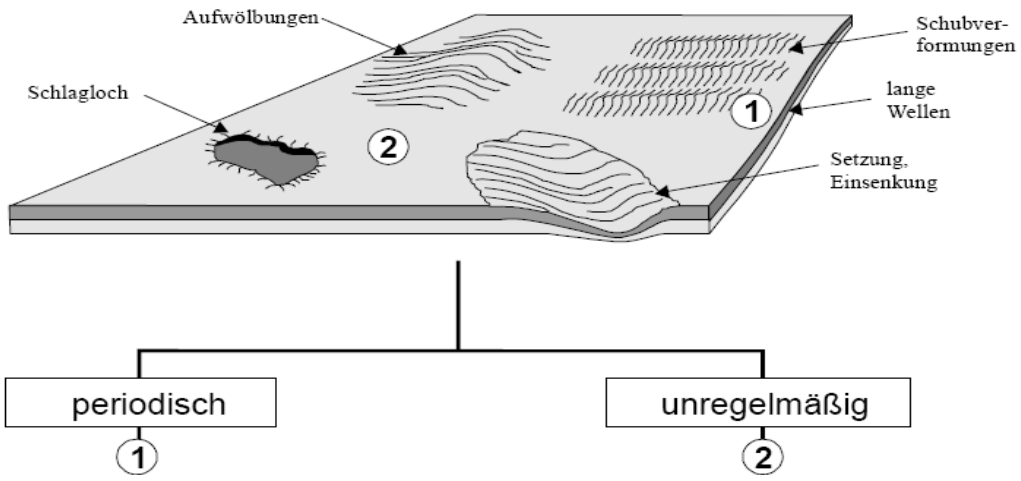


Abbildung 8: Unebenheit in Längsrichtung [7]

Es gibt zwei Unebenheitstypen:

- Periodisch
- Unregelmäßig

Periodische Unebenheiten können Verformungen der bituminosen Deck-/Binderschicht oder lange Wellen in Längsrichtung (gesamte Breite) sein.

Unregelmäßige Unebenheiten können Schlaglöcher oder plastische Verformung verschiedener Schichten sein.

In Abbildung 9 werden die Unebenheiten an Betonbefestigungen dargestellt:

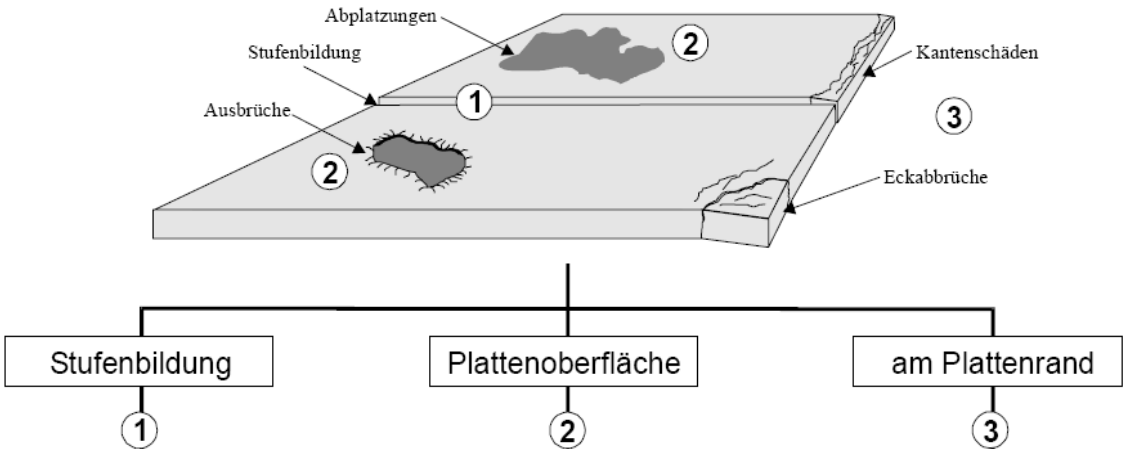


Abbildung 9: Unebenheiten an Betonbefestigungen [7]

Man kann drei Haupttypen definieren:

- Stufenbildung
- Plattenoberfläche
- am Plattenrand

Stufenbildung – Stufe an den Plattenrändern, an Quer- oder Längsrissen (z.B. undichter Fugenverguss, Eindringen von Wasser, fehlende Verdübelung oder Erosion der Tragschicht).

Plattenoberfläche – Materialverluste im oberen Bereich der Betondecke (z.B. Einbaufehler bei Verdichtung und Nachbehandlung, unbehandelte Haarrisse an der Oberfläche, etc.).

Am Plattenrand – Verkantungen von abgerissenen Plattenteilen (z.B. Eindringen von Wasser, Abreißen und Absenkung von Teilen der Betonplatte.

3.2.5.3 Spurrinnen

Spurrinnen sind zusammenhängende Längsrinnen in den Radspuren, die meist paarweise im Achsabstand auftreten. Verursacht werden Spurrinnen in Asphaltstraßen hautsächlich durch Schwerverkehr. Sie sind für die Fahrsicherheit und für den Fahrkomfort von Bedeutung und entstehen in den oberen Asphaltschichten der Fahrbahn. Die Umgebungstemperatur hat neben der Belastung einen entscheidenden Einfluss auf die Bildung von Spurrinnen [17].

Die kennzeichnenden Größen für die Querebenheit der Fahrbahn sind die Spurrinnentiefen, die Profiltiefe und die theoretische Wasserfilmtiefe in der rechten und linken Radspur eines Fahrstreifens (siehe Abbildung 10).

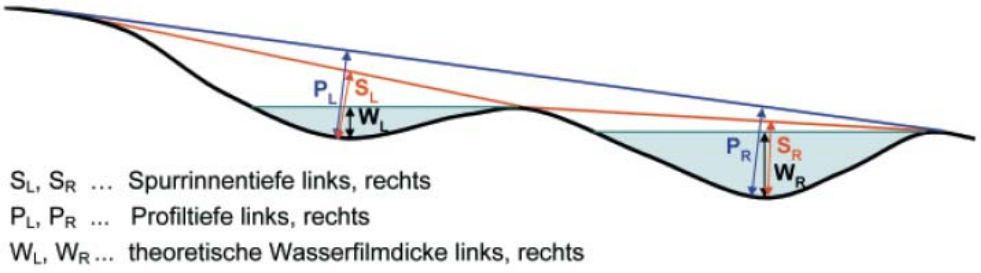


Abbildung 10: Ermittlung der Spurrinnentiefe und der theoretischen Wassertiefe [19]

In Abbildung 11 werden drei wichtige Verformungen der bituminösen Schicht dargestellt:

- Verdrängung
- Einsenkung
- sonstige Formen

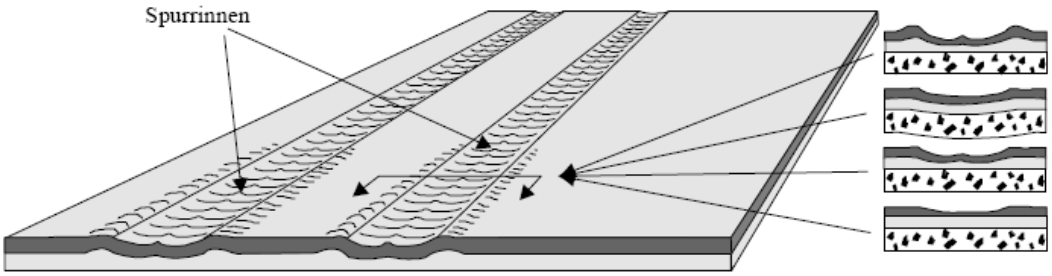


Abbildung 11: Spurrinnentiefe an bituminöser Befestigung [7]

Die Verdrängungen entstehen meistens durch Schwerverkehr (Kanalisierung des Verkehrs), hohe Temperaturen, etc.

Die Einsenkung ist eine plastische Verformung der gesamten bituminösen Befestigungsschicht. Die Hauptursache können ungenügende Verdichtung oder Tragfähigkeit der ungebundenen Schichten sein.

In der folgenden Abbildung 12 kann man das Ergebnis einer erhöhten Beanspruchung durch Schwerfahrzeuge mit erhöhter Achslast und Gesamtgewicht und „aggressivem" Reifentypen sehen.

Abbildung 12: Spurrinnen [19]

Die Querebenheitsmesseinrichtung am RoadSTAR besteht im Wesentlichen aus 23 Lasersensoren, die auf einem Balken an der Frontpartie des Fahrzeuges angeordnet sind (siehe Abbildung 13).

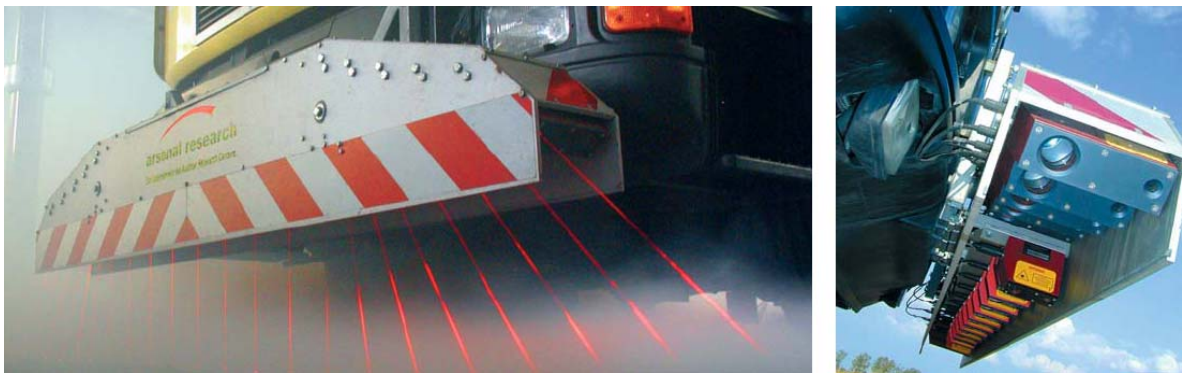


Abbildung 13: Fächerförmige Anordnung der Querprofilsensoren [15]

3.2.5.4 Risse und Oberflächenschäden

A) <u>Risse:</u>

Risse sind einzelne, gehäufte oder netzartig gebundene Brüche in bituminös gebundene Oberbausschichten und in Betondecken. Sie treten durch verschiedenen Beanspruchungstypen (z.B. Verkehrsbelastungen, Bodenbewegungen, etc.) auf.

Zu den verschiedenen Rissarten zählt man [17]:

- Einzelrisse
- Querrisse
- Längsrisse
- Netzrisse
- Risshäufung
- Randrisse

In Abbildungen 14 werden die verschiedenen Risstypen in bituminösen Befestigungen dargestellt:

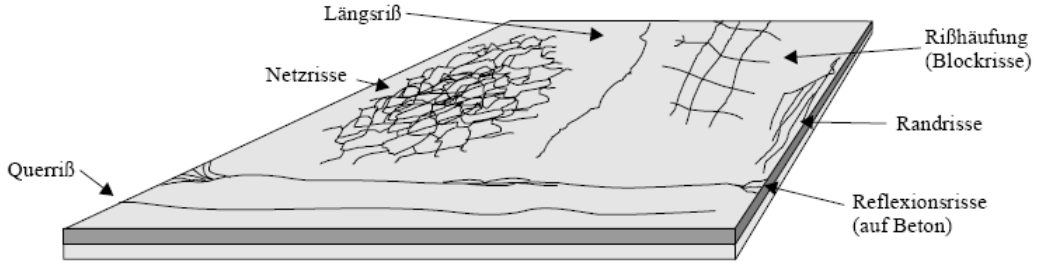


Abbildung 14: Einzel- und Netzrisse in bituminösen Befestigungen [7]

In Abbildungen 15 werden die verschiedenen Risstypen in Betonbefestigungen dargestellt:

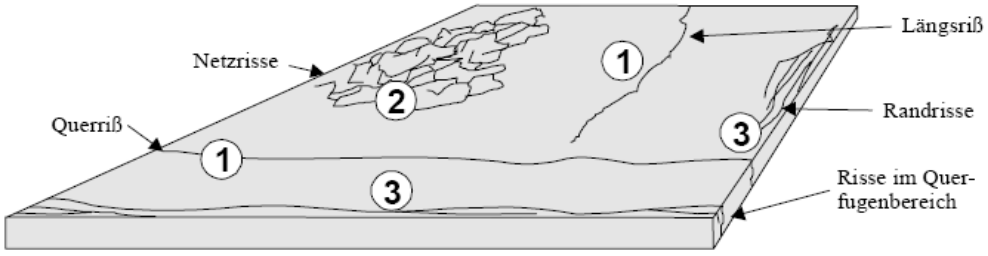


Abbildung 15: Risse in Betonbefestigungen [7]

Einzelrisse

Einzelrisse sind klaffende Brüche mit verschiedener Richtung (z.B. Quer-, Längsrichtung).

Abbildung 16: Einzelriss [17]

Mögliche Schadensursachen sind zu hohe Verkehrsbelastung, unzureichende Entwässerung, größer Hohlraumgehalt, etc.

Querrisse

Querrisse sind Risse mit ausgeprägter Richtung quer zur Straßenachse.

Mögliche Schadensursachen sind Einbaufehler, Reflexionsrisse, thermische Überbeanspruchung, etc.

Längsrisse

Längsrisse sind Risse mit ausgeprägter Richtung parallel zur Straßenachse.

Mögliche Schadensursachen sind zu hohe Verkehrsbelastung, Einbaufehler, Frosthebungen, unzureichende Entwässerung, etc.

Netzrisse

Netzrisse sind Risse, die den Straßenbelag in ungereihte verschiedenförmige Blöcke zerteilen (siehe Abbildung 17). Sie können bis in die Tragschicht reichen. Meisten entstehen die Netzrisse bei dünnen Schichten.

Abbildung 17: Netzrisse [17]

Mögliche Schadensursachen sind ungenügende Tragfähigkeit des Unterbaus und der ungebundenen Tragschicht, Beanspruchung von Frost und Tausalz, ungenügende Dicke des Oberbaus, Schwerverkehrsbelastung, etc.

Risshäufung

Risshäufung oder Blockrisse sind Risse, die die Oberfläche in fast gleiche Großblöcke zerteilen. Sie reichen auch bis in die Tragschicht (siehe Abbildung 18). Sie stellen die Endform der Netzrisse dar, die Befestigung ist vollständig zerstört.

Abbildung 18: Risshäufung [18]

Randrisse

Randrisse sind Risse, die sich am Seitenbereich der Fahrbahn häufig in Längsrichtung befinden. Mögliche Schadenursachen sind Erosion der Tragschicht, unzureichende Verdichtung der ungebundenen Schicht, etc.

Besonderheiten von Rissen an Betonbefestigungen

Einzelrisse sind meistens in Längs- oder Querrichtung anzutreffen. Die Ursachen sind Einwirkung von Schwerverkehr, unzureichende Entwässerung der Unterlage, etc.

An der Plattenoberfläche kann es zu feinen Rissen und Netzrissen kommen. Die Ursachen können ein höheres Verhältnis zwischen Wasser und Zement, Einbaufehler bei Verdichtung und Nachbehandlung, Beanspruchung durch Frost und Tausalz, etc. sein.

Der Plattenrand kann Brüche im Bereich von Längs- und Querfugen aufweisen, die durch undichten Fugenverguss, Eindringen von Wasser, zu große Plattenlänge, etc. verursacht werden.

B) <u>Oberflächenschäden:</u>

Die in Abbildung 19 schematisch dargestellten Oberflächenschäden an Asphaltbefestigungen können in vier Gruppen eingeteilt werden:

- Ausmagerung
- Abtrieb/Verschleiß
- Flickstellen
- Schwitzstellen

Eine kurze Beschreibung wird nachfolgend dargestellt, eine schematische Übersicht bietet Abbildung 19.

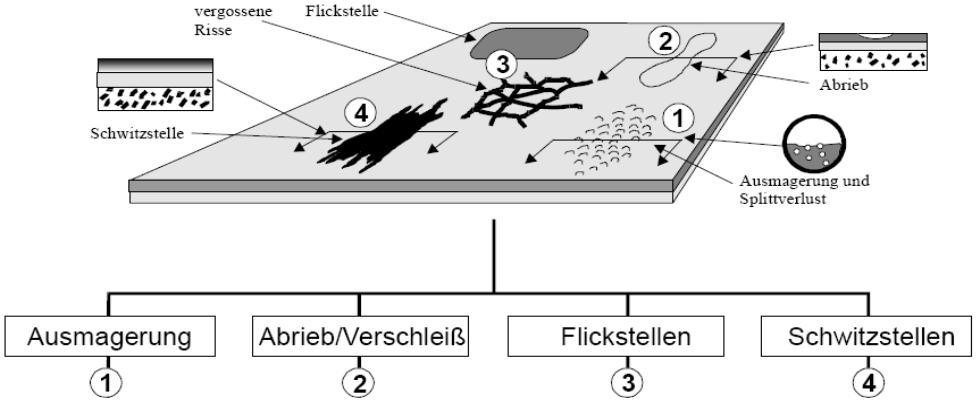


Abbildung 19: Oberflächenschäden [7]

Ausmagerung – Herauslösen vom bituminösem Mörtel aus der Oberfläche (siehe Abbildung 20).

Sie können durch lokale Entmischung beim Einbau mit inhomogener Struktur oder durch die rheologischen Eigenschaften des Bindemittels entstehen.

Abbildung 20: Ausmagerung [17]

Abrieb/Verschleiß – Materialverluste an der Oberfläche (z.B. durch mechanische Einwirkungen des Verkehrs).

Abbildung 21: Abrieb [19]

Flickstellen (Schlaglöcher) – ausgebesserte geschädigte Bereiche (z.B. Instandhaltungsarbeiten an schadhaften Bereichen).

Abbildung 22: Schlagloch [19]

Schwitzstellen (Bindemittelaustritt) – Bindemittelanreichung an der Oberfläche (siehe Abbildung 23).

Das kann bei hohem Bindemittelgehalt des Mischgutes, hoher Temperatur oder falscher Bindemitteldosierung bei Oberflächenbehandlungen auftreten.

Abbildung 23: Schwitzstelle [17]

3.2.6 Zustandserfassung

Zustanderfassungen können in Abhängigkeit von der Aufnahme- oder Erfassungsmethodik folgendermaßen unterschieden werden [3]:

- Visuelle Zustandserfassungen erfolgen durch eine Aufnahme und Begutachtung der sichtbaren Schäden durch Erfassungspersonal direkt vor Ort oder durch die Aufnahme von Schäden mit Film- oder Videosystem und eine vom Aufnahmeort unabhängige Auswertung.
- Sensitive Straßenzustandserfassungen erfolgen durch eine Erfassung der Schäden infolge der Einwirkung auf das Erfassungspersonal, zum Beispiel die Beurteilung der Längsebenheit der Straße durch das Befahren der Straße.
- Messtechnische Straßenzustandserfassungen erfolgen durch eine Aufnahme der Schäden mit Hilfe von automatischen oder halbautomatischen Messeinrichtungen. Hier unterscheidet man zwischen Hochleistungsgeräten, die für eine Erfassung mit hoher Geschwindigkeit ausgelegt sind und punktförmig einzusetzenden Geräten, die für eine Beurteilung auf Projektebene herangezogen werden.

Die Erfassung des Straßenzustandes wird in Österreich in der Regel periodisch durchgeführt (3-5 Jahre).

3.2.6.1 Visuelle Zustandserfassung

Zwei wichtige Grundlagen wurden für die visuelle Erfassung von Straßenzustandinformation in Österreich erarbeitet [3].

- **Österreichischer Schadenskatalog des ISTU:** Dieser enthält eine Auflistung der möglichen Schädigungen der Straße, Auskunft über Schadenursachen, Erfassung des Schadenausmaßes, etc [3].
- **Arbeitsanweisung zur visuellen Zustandserfassung 2005:** Diese wurde im Zuge der visuellen Zustandserfassung 2005 erarbeitet und dient zur Erfassung von erhaltungsrelevanten Schäden auf Netzebene [27].

Diese Unterlagen haben wesentlich zur Vereinheitlichung der visuellen Straßenzustandserfassungen beitragen. Man kann sagen, dass die Straßenzustandserfassung eine wichtige Grundlage für die Analyse liefert und daher einen wesentlichen Teil des Pavement Management System darstellt.

Zur Erfassung der Oberflächenschäden wird in Österreich teilweise die manuelle Erfassung im Zuge von Begehung und teilweise das Messfahrzeug RoadSTAR des Arsenals, wie in Abbildung 24 dargestellt, verwendet.

Abbildung 24: Messfahrzeug RoadSTAR [6]

Das Kamerasystem des RoadSTARs ermöglicht eine lückenlose digitale Abbildung des Straßenraums bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h. Dieses Aufnahmesystem besteht aus vier industriellen Kameras.

Abbildung 25: Darstellung der zwei Seitenkameras des RoadSTARs [15]

In folgender Abbildung werden beispielhafte Photos von der visuellen Erfassung mit dem RoadSTAR dargestellt.

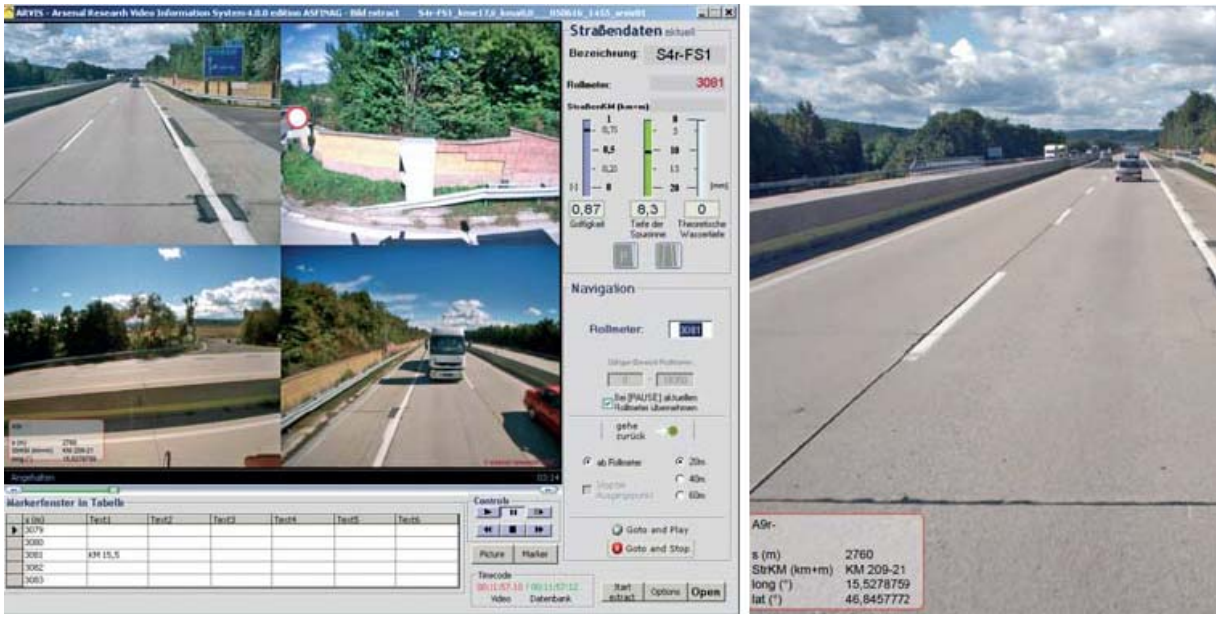


Abbildung 26: Darstellung einer visuellen Erfassung [15]

Die Auswertung der aufgenommenen Bilder erfolgt im Büro. Zusätzlich können auch Objekte im Straßenraum und deren Beschaffenheit wie Lärmschutzwände oder Grünstreifen erfasst werden.

3.2.6.2 Messtechnische Zustandserfassung

In den letzten Jahren haben sich in Deutschland und in Österreich folgende multifunktionale Messsysteme bewährt: ARGUS (Automatic Roadcondition Graduating Unit System) und RoadSTAR (Road Surface Tester of Arsenal Research). Diese Messsysteme ermöglichen gleichzeitig die präzise Messung der Quer- und Längsebenheiten, die Bestimmung der Griffigkeit, als auch ein Fotografieren der Fahrbahnoberfläche.

Mit dem RoadSTAR können im fließenden Verkehr bei Messgeschwindigkeiten zwischen 40 und 120 km/h (Standardmessgeschwindigkeit 60 km/h) die wichtigsten Oberflächeneigenschaften sowie Trassierungsparameter erfasst werden.

Der RoadSTAR (siehe Abbildung 27) ist auf einem 2-Achs-LKW aufgebaut. Über der Hinterachse sitzt ein Wassertank mit einem Fassungsvermögen von 6000 Litern. Am Fahrzeug sind Messeinrichtungen für Griffigkeit, Querebenheit, Längsebenheit, Textur und Temperatur, ein GPS-System, ein digitales Videosystem sowie ein Inertial-Kreiselsystem montiert [11].

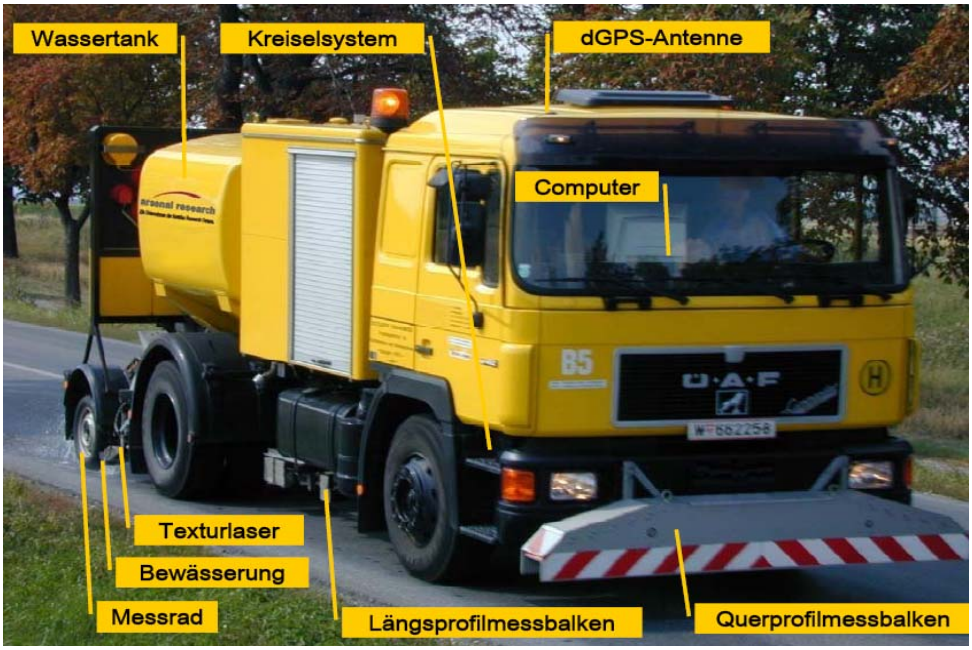


Abbildung 27: RoadSTAR [12]

3.2.7 Zustandsbewertung

Die Straßenzustandsbewertung ist grundlegend für die Feststellung des Erhaltungsbedarfs. Mit einem einzigen Zustandsmerkmal ist keine eindeutige Aussage über den Gesamtzustand der Straße möglich. Erst eine Kombination der einzelnen Zustandsmerkmale und Informationen über die Oberbaukonstruktion (Material, Alter, Schichtdicken, etc.) ermöglichen eine präzise Beurteilung des Straßenzustands. Diese Informationen werden zu Teil- und Gesamtwert zusammengefasst. Dies ist von Vorteil, da mathematisch nur nach einem einzigen Wert optimiert werden kann, der möglichst viele Eigenschaften der Straße enthalten soll [3].

Für die Bewertung des Straßenzustandes werden zwei Teilwerte definiert:

- Substanzwert: Teilwert zur Beschreibung der strukturellen Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion. Hier werden Spurrinnen, Längsebenheit, Oberflächenschäden und Risse und das Alter der Konstruktion berücksichtigt.

- Gebrauchswert: Teilwert zur Beschreibung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts der Oberbaukonstruktion. Der Gebrauchswert enthält folgende Zustandsmerkmale wie Griffigkeit, Spurrinnen, Längsebenheit und Oberflächenschäden.

In der nachfolgenden Abbildung 28 ist das Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes für Österreich schematisch dargestellt.

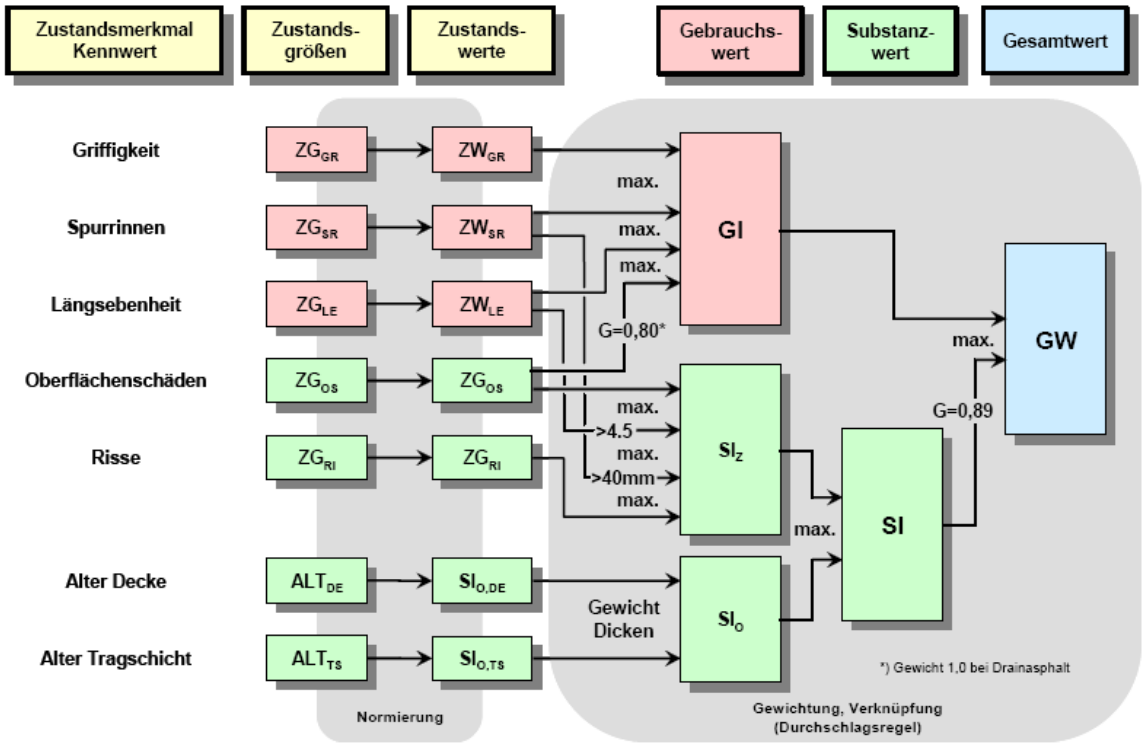


Abbildung 28: Schematische Darstellung zur Bildung der Teilwerte und des Gesamtwertes bei Asphaltbefestigungen [23]

Das Schema zeigt die Zusammenführung der Zustandsmerkmale und Oberbauinformationen (Griffigkeit, Spurrinnen, Längsebenheit etc.) zu den Teilwerten Substanzwert SI und Gebrauchswert GI sowie das Endergebnis in Form des Gesamtwertes GW. Es ist wichtig zu bemerken, dass der Einfluss des Substanzwertes durch ein Gewicht (0,89) zunächst reduziert wird. Dies hat zur Folge, dass ein Substanzwert mit der Note 5 maximal einen Gesamtwert von 4,49 erreichen kann und daher maximal der Zustandsklasse 4 (schlecht) zugeordnet werden kann [21].

In Deutschland wird das Zustandsbewertungsschema nach Abbildung 29 verwendet:

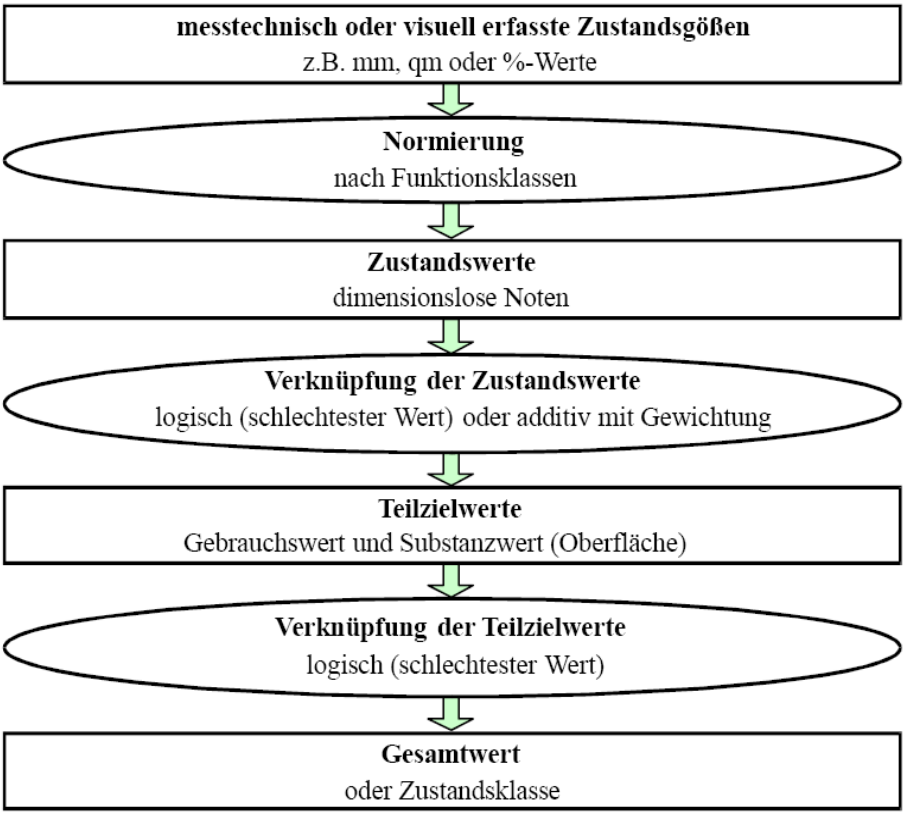


Abbildung 29: Ablauf der Zustandsbewertung nach [9]

Mit dem in Österreich verwendeten System stimmt das deutsche Verfahren nicht völlig überein. Ein entscheidender Unterschied der beiden Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes besteht in der Berücksichtigung zusätzlicher Informationen des Straßenoberbaus. In Deutschland finden ausschließlich die Eigenschaften der Straßenoberfläche Berücksichtigung. In Österreich werden auch das Alter der Deck- und Tragschichten bei bituminösen Oberbaukonstruktionen bzw. das Alter der Betondecke bei starren Konstruktionen berücksichtigt [21].

- Normierung:

Die Zustandsgrößen (wie z.B. Oberflächenschäden, Risse, etc.) können alleine zwar eindeutige Aussage über den Straßenzustand geben, sie können aber nicht direkt mit einander verglichen werden. Dies kann erst nach einer Normierung erfolgen.

Durch die Normierung werden die erfassten Zustandsgrößen mittels einer Normierungsfunktion in dimensionslose Zustandswerte überführt. In Tabelle 2 wird gezeigt, dass der Zustandswert 1,0 kennzeichnend für einen sehr guten Zustand steht, der Zustandswert 5,0 für einen sehr schlechten Zustand [3]. Diese Notenbereiche werden als Zustandklassen bezeichnet.

Tabelle 2: Zustandswerte und Zustandsklassen nach [3]

Zustandsklasse	Zustandswert	Farbzuordnung
1	[1,0 - 1,5)	grün
2	[1,5 - 2,5)	dunkelblau
3	[2,5 - 3,5)	lila
4	[3,5 - 4,5)	gelb
5	[4,5 - 5,0]	rot

Die Zustandswerte können nach folgenden drei Werten (siehe Abbildung 31) unterteilt werden [3]:

- Zielwert (1,5): Der Zielwert entspricht einem Wert, der nach dem Durchführen der Erhaltungsmaßnahme erreicht werden sollte.
- Warnwert (3,5): Der Warnwert beschreibt einen Zustand, der Anlass zu einer Analyse der Ursachen der Zustandsverschlechterung und zu zweckmäßigen Erhaltungsmaßnahmen ist.
- Schwellenwert (4,5): Der Schwellenwert beschreibt den Zustand, der die Einleitung von Erhaltungsmaßnahmen erfordert.

In Abbildung 30 ist eine Normierungsfunktion dargestellt, die in Deutschland verwendet wird.

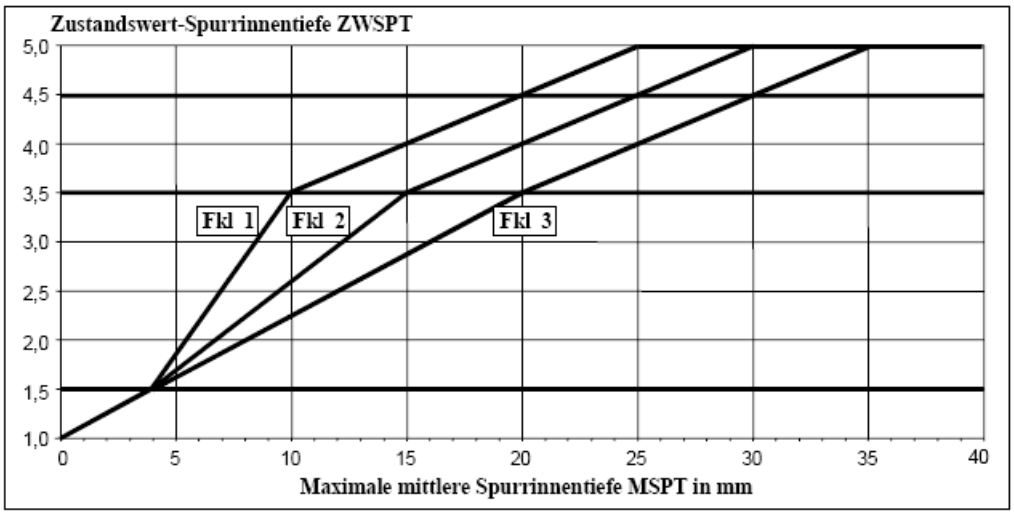


Abbildung 30: Normierungsfunktion Spurrinnen Deutschland [9]

Solche abschnittsweise lineare Funktionen sind zwischen dem Zielwert und dem Warnwert sowie zwischen dem Warnwert und dem Schwellenwert stetig.

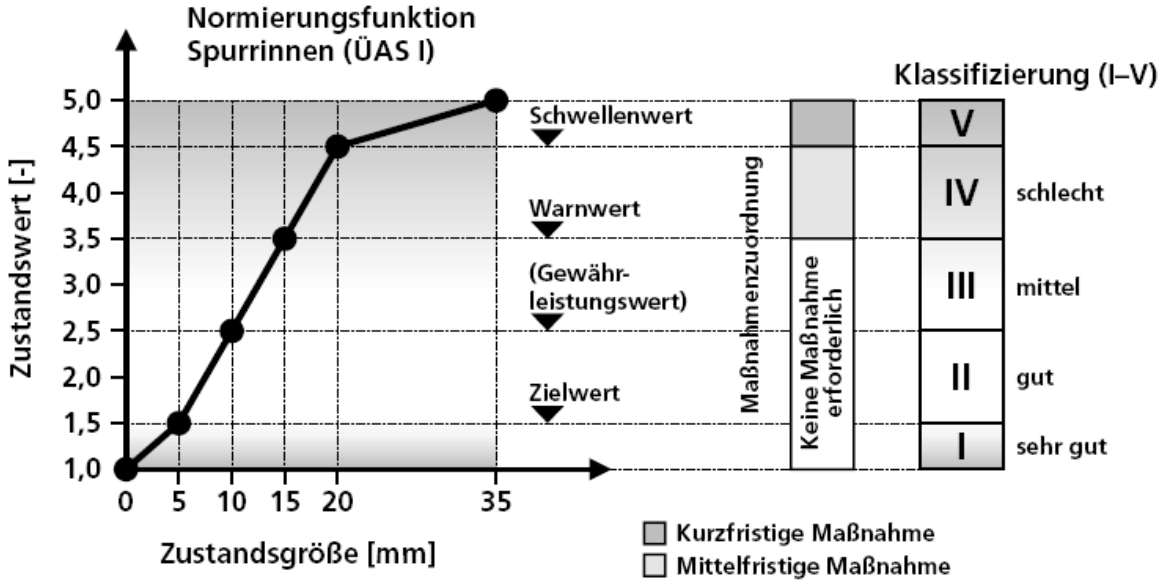


Abbildung 31: Normierungsfunktion für Spurrinnenstiefe in VIAPMS-AUSTRIA [2]

In Österreich werden, wie in Abbildung 31 gezeigt, abschnittsweise lineare Funktionen verwendet, die sich aufgrund der Festlegung von Erfassungsklassen mit runden Grenzwerten in bis zu vier stetige Bereiche unterteil sind [3].

3.2.8 Sonstige Daten

3.2.8.1 Klimadaten

Klimadaten sind derzeit der jüngste Datenbestand in der österreichischen Straßendatenbank. Der direkte Einfluss des Klimas auf den Straßenzustand wird derzeit nicht berücksichtigt. [3].

Es wurden folgende Klimakenngrößen auswählt:

- Temperatur (Minimum oder Maximum) in [°C]
- Frost: in Grad Celsius Tage [°C*d] oder Kelvin Stunden [K*h]
- Wasser: Jahresniederschlagssumme in [mm] und k-Index

3.2.8.2 Unfalldaten

In den wenigsten Fällen ist für die Unfalldaten, die in Österreich zur Verfügung stehen, eine eindeutige Zuordnung zwischen einem Mangel der Straßenoberfläche und der Unfallursache möglich. Die Unfallhäufungsstellen sollen nicht im Zuge einer PMS-Analyse betrachtet werden, sondern durch die vor Ort tätigen Erhalter [3].

3.2.8.3 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl von strukturellen Erhaltungsmaßnahmen, die Prognose der Straßenzustandsentwicklung und die abgeleiteten Kenngrößen der Optimierung.

Für eine Abschätzung der Tragfähigkeit einer Asphaltkonstruktion kann man mit den zur Verfügung stehenden Informationen (Daten) der einzelnen Straßenabschnitte eine Grundlage für die Wahl einer geeigneten Erhaltungsmaßnahme erhalten.

Im Rahmen einer Tragfähigkeitsabschätzung werden die folgenden Daten herangezogen [3]:

- Schichtart: Deckschicht, gebundene Tragschicht, ungebundene obere Tragschicht, etc.
- Schichtmaterial: Asphaltbeton, bituminöse Tragschicht, etc.
- Schichtdicke
- Herstellungsjahr der Schicht

Zur Bestimmung der Größe der Beanspruchung des Straßenoberbaus (siehe Abbildung 32) und damit auch der erforderlichen Dicke der einzelnen Oberbauschichten muss man die Untergrundtragfähigkeit, einer von drei wesentlichen Einflussparametern (Verkehrsbelastung und Materialkennwerte der Oberbauschichten), wissen. Das Tragfähigkeitsverhalten des Untergrunds ist von großem Einfluss auf die erforderliche Dicke des Oberbaus bzw. auf die Lebensdauer der Befestigung [20].

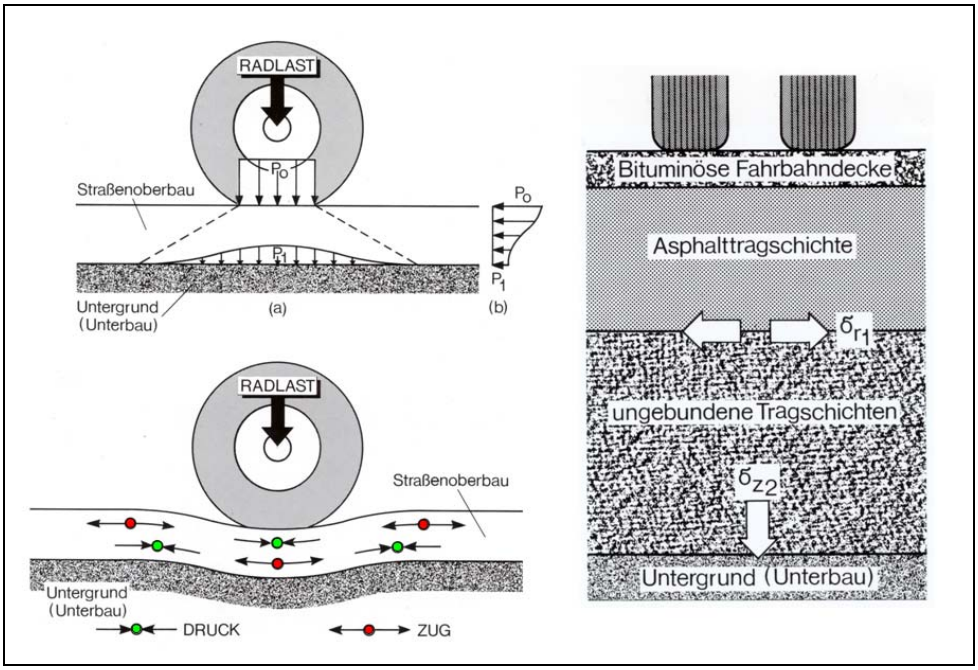


Abbildung 32: Schematische Darstellung der Beanspruchung des Straßenoberbaus durch die Verkehrslast [20]

Die Verkehrslast p_0 wird durch die lastverteilende Wirkung bis zum Wert p_1 auf dem Unterbauplanum reduziert.

σ_{z2} ist die senkrechte Druckspannung auf die Unterlage (Untergrund)

σ_{r1} ist die radiale Zugspannung an der Unterseite der Asphaltschichte

Vorrangig die gebundenen Tragschichten zeichnen für eine strukturelle Veränderung infolge Ermüdung verantwortlich. So können die ungebundenen Tragschichten im Bezug auf eine Altersreduktion weitgehend unberücksichtigt bleiben. Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Informationen lässt sich ausschließlich über das Alter der gebundenen Tragschicht zum Zeitpunkt einer Instandsetzungsmaßnahmen eine Reduktion der Tragfähigkeit ableiten und damit die Abschätzung der „Resttragfähigkeit" durchführen [3]. Dabei müssen folgende Randbedingungen berücksichtigt werden:

- Wird eine bituminöse Deckschicht innerhalb des Gewährleistungszeitraumes der Tragschicht errichtet, gilt dies als Neubaukonstruktion.
- Den gebundenen Tragschichten wird eine „Resttragfähigkeit" von mindestens 30% der Tragfähigkeit der neuwertigen Befestigung zugeordnet.

In VIAPMS_AUSTRIA wurde in einer ersten Näherung auf die RVS 03.08.63 [8] zurückgegriffen, die für neue bituminöse Oberbaukonstruktionen eine Bemessungsdauer von 20 Jahren vorsieht. Ordnet man dem Ende der Bemessungsdauer den Wert von 0,3 zu und dem Ende der Gewährleistungszeit (3 Jahre) den Wert von 1,0, so ergibt sich unter der Annahme eines linearen Funktionsverlauf von c_i folgender Zusammenhang zwischen der Alterdifferenz $\Delta_{Alter,ij}$ und dem Reduktionsfaktor (siehe Abbildung 33) [3].

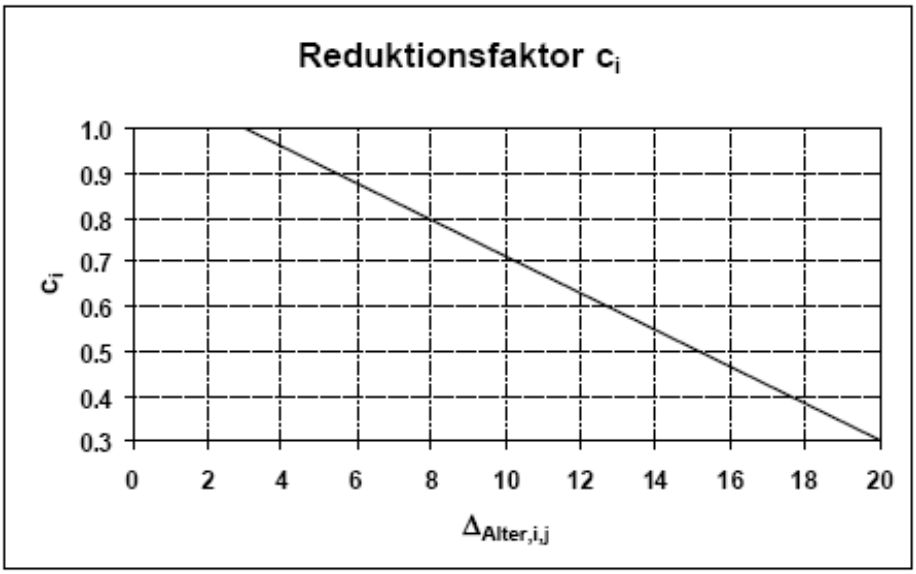


Abbildung 33: Reduktionsfaktor nach [3]

c_i ist der Reduktionsfaktor der Schicht i.

$\Delta_{Alter,ij}$ ist die Alterdifferenz zwischen der zuletzt aufgebrachten Schicht und der Schicht i [Jahre].

Mithilfe dieses Reduktionsfaktors lässt sich die wirksame Dicke der Asphaltschicht als Produkt von c_i und der vorhandenen Dicken der Asphaltschicht ermitteln.

3.2.9 Zustandsprognose

Die Prognose des Straßenzustands erfolgt durch die Anwendung von so genannten deterministischen Verhaltensfunktionen. Sie stellen eine Veränderung des Straßenzustands über die Zeit in Abhängigkeit vom Alter oder der Verkehrsbelastung dar. Es ist erforderlich und zweckmäßig, diese Funktionen an die örtlichen Gegebenheiten anzupassen.

In Österreich wird für jedes Merkmal und jedem Abschnitt ein Modell zugeordnet.

Die nachfolgende Abbildung 34 zeigt den Verlauf des Zustandsmerkmals Risse für über-, unter- und richtig dimensionierte Oberbaukonstruktion [3].

Alter [Jahre] ist das Alter der Oberbaukonstruktion

VBI ist der Verkehrsbelastungskoeffizient.

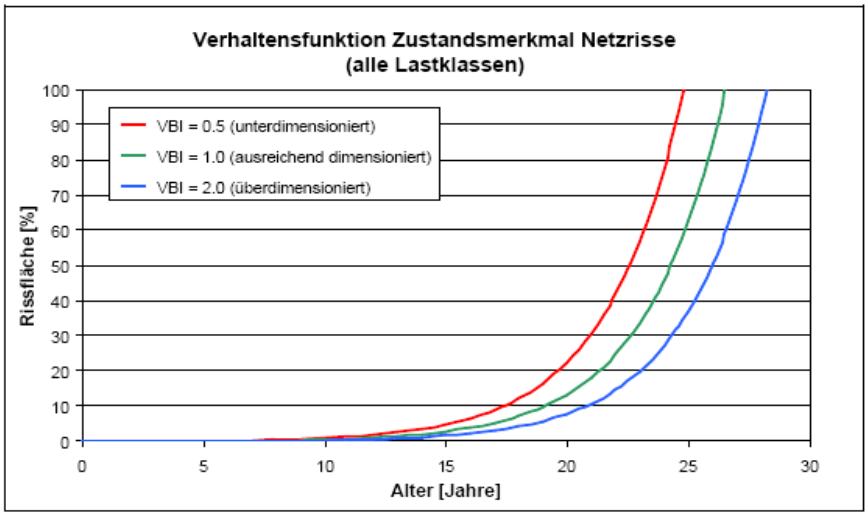


Abbildung 34: Verhaltensfunktionen Zustandsmerkmal Risse nach [3]

3.2.10 Maßnahmenkatalog und Budgetszenarien

Der Maßnahmenkatalog berücksichtigt die individuellen Anforderungen und Bedürfnisse des jeweiligen Straßenerhalters.

Für jede einzelne Maßnahme, die sich im Katalog befindet, werden folgende Informationen dargestellt [6]:

- Art
- Kosten
- Technische Anwendungsgrenzen
- Interventionszeiträume

Nach [3] können entsprechend drei Budgetkategorien unterteilt werden:

- Budgetkategorie für Instandhaltungsmaßnahmen
- Budgetkategorie für Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen
- Budgetkategorie für Neubau

Jede Maßnahme muss zumindest einer bestimmten Budgetkategorie angehören. Budgetvorgaben sind monetäre Randbedingungen, die durch die Festlegung eines jährlichen Maximalwertes an zur Verfügung stehenden Geldmitteln in jeder Budgetkategorie definiert werden. Wenn mehrere monetäre Randbedingungen für ein Jahr festgelegt werden, dann spricht man von unterschiedlichen Budgetszenarien (wie z.B. Null-Szenario, Status-Quo-Szenario, etc.) [3].

3.2.11 Datenanalyse mit Software VIAPMS™

Die Analyse der Daten in VIAPMS_AUSTRIA erfolgt durch den Ablauf eines mathematischen Algorithmus, der aus verschiedenen Modulen besteht. Mit der Bewertung des Straßenzustandes können aus den physikalischen Zustandgrößen der Einzelmerkmale (Spurrinnen, Griffigkeit, Risse, etc.) dimensionslose Zustandwerte normiert werden. Diese Zustandswerte werden zu Teilwerten zusammengefasst, die einerseits sowohl die Struktur des Oberbaus und andererseits den Fahrkomfort und die Fahrsicherheit charakterisieren. Aus diesen zwei Teilwerten kann für den gesamten Straßenzustand ein Gesamtwert gebildet werden.

Um die zeitabhängige Veränderung des Straßenzustands abbilden zu können, werden für jedes Zustandsmerkmal entsprechende Straßenzustandsprognosemodelle verwendet. Diese können aus den zur Verfügung stehenden Daten unter Anwendung statistischer Methoden entwickelt werden. Somit ist durch die Prognose des einzelnen Merkmals im Rahmen der Bewertung des Straßenzustandes auch eine Prognose des Gesamtwerts möglich.

Der Vergleich zwischen den Kosten der Strategien und dem Nutzen ermöglicht eine Auswahl der wirtschaftlichen Maßnahmen für die Optimierung. Das Optimierungsverfahren errechnet letztendlich unter vorgegebenen budgetären Randbedingungen (Budgetszenarien) die optimale Erhaltungsstrategie [10].

Im Zuge der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung werden die Erhaltungsstrategien entsprechend bewertet (Nutzen-Kosten-Verhältnisse). Die Definition des Nutzens erfolgt in Abhängigkeit von der Wirkung der Erhaltungsmaßnahme auf den Straßenzustand unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastung.

Die nachfolgende Abbildung 35 zeigt die Definition des Nutzens auf einen bestimmten Straßenabschnitt.

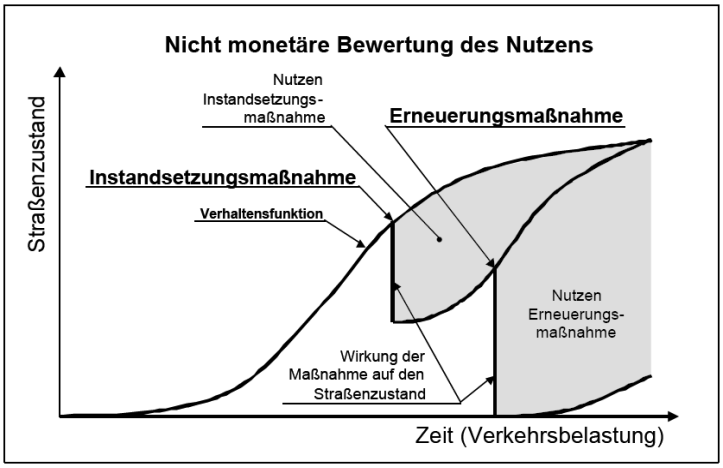


Abbildung 35: Schematische Darstellung einer Optimierungskriterium [3]

Für jedes Zustandsmerkmal kann die Berechnung des Nutzens durchgeführt werden. Es empfiehlt sich daher, den Nutzen über einen Teilwert oder über den Gesamtwert zu bestimmen und danach kann man die Kriterien für den Nutzen auswählen.

Für die praktische Berechnung des Nutzens in der Software VIAPMS AUSTRIA wird derzeit der Gesamtwert herangezogen, dessen Verlauf durch die Zustandsentwicklung der Einzelgrößen bestimmt ist [3].

Die nachfolgende Abbildung 36 zeigt das so genannte „Effektivitätsdiagramm", das die graphische Gegenüberstellung der Kosten (x-Achse) und des Nutzens (y-Achse) von möglichen Erhaltungsmaßnahmen ist.

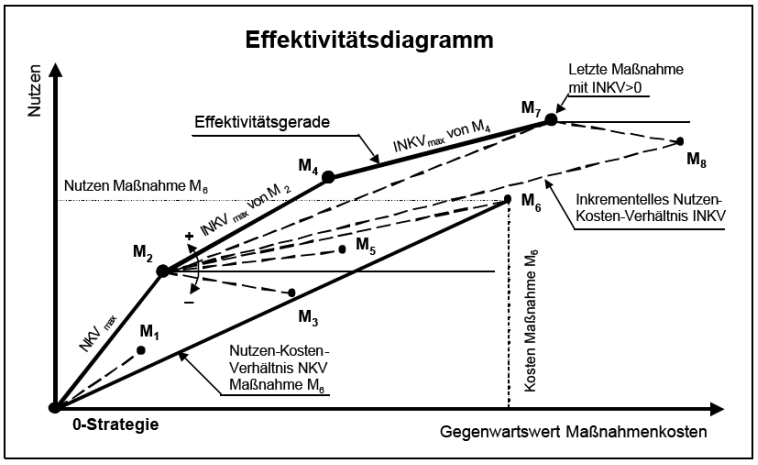


Abbildung 36: Schematische Darstellung des Effektivitätsdiagramms [3]

Als Effektivitätsgerade wird die lineare Verbindung der effektivsten Maßnahmen bezeichnet. Alle Maßnahmen, die unterhalb dieser Geraden liegen, können als nicht wirtschaftlich eingestuft werden, wobei ihr inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis (INKV) geringer ist. Maßnahmen, die auf der Geraden liegen, weisen das höchste inkrementelle Nutzen-Kosten-Verhältnis auf [3].

Zum Abschluss dieses Kapitels kann man sagen, dass in einem Erhaltungsmaßnahmenkatalog grundsätzlich folgende Arten von Erhaltungsmaßnahmen enthalten sein können:

- Instandhaltungsmaßnahmen
- Instandsetzungsmaßnahmen
- Erneuerungsmaßnahmen

In Österreich werden kurz-, mittel- und langfristig nur Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen geplant und budgetiert. Instandhaltungsmaßnahmen werden in meisten Fällen aufgrund einer aktuellen Notwendigkeit durchgeführt.

Nach [3] können folgende Maßnahmen und deren Wirkungen unterschieden werden:

Maßnahmengruppe	Auswirkung auf Teilziele		
	Fahrsicherheit	Fahrkomfort	Struktur
Oberflächenmaßnahme	hoch bis mittel	mittel	keine
Deckschichtmaßnahme	hoch	hoch bis mittel	gering bis keine
Verstärkungsmaßnahmen	hoch	hoch	hoch bis mittel
Erneuerungsmaßnahme	hoch	hoch	hoch

Abbildung 37: Auswirkungen der Maßnahmengruppen [3]

Aus den Ergebnissen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen kann der zukünftige Erhaltungsbedarf zur Erreichung eines festgelegten Zustandsstandards differenziert werden.

4. ANWENDUNGSBEISPIEL FÜR EIN TEILSTÜCK EINER HOCHLEISTUNGSSTRASSE

4.1 Allgemeines

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die systematische Erhaltungsplanung für ein Teilstück einer Hochleistungsstraße von ungefähr 38 km in einer Richtung beziehungsweise 76 km in beiden Richtungen (Länge der Richtungsfahrbahnen). Mit Hilfe der Analysesoftware VIAPMS™, die derzeit in Österreich von den Straßenverwaltungen verwendet wird, kann man eine optimale Erhaltungsstrategie ermitteln. Diese gründet sich auf Informationen wie den aktuell erhobenen Straßenzustand, die Verkehrsbelastung, die Aufbauinformationen, Kostenansätzen und ähnliches.

Zuerst stellt man eine Datenbank auf, wo sämtliche für die Berechnung erforderlichen Informationen in elektronischer Form gespeichert werden. Danach wird ein Maßnahmenkatalog mit der Information aller möglichen Erhaltungsmaßnahmen erstellt.

Der nächste Hauptschritt ist das Festlegen der unterschiedlichen Budgetszenarien, die Berechnung des Erhaltungsplanes und die Analyse des Ergebnisses durch die Software.

In folgenden Abschnitten werden ausführlich die erhobenen Daten dargestellt.

4.2 Querschnittsdaten

Die Querschnittsdaten, die für Berechnungen in dieser Diplomarbeit zur Verfügung standen, sind die Informationen über die

- Anzahl der Fahrsteifen
- Breite der Straße.

Die betrachtete Strecke hat zwei Fahrtrichtungen (in oder gegen die Kilometrierungsrichtung) und wird in 50 m Abschnitte geteilt. In Kilometrierungsrichtung gibt es elf Bauwerke und gegen Kilometrierungsrichtung neun Bauwerke. Die Anzahl der Fahrstreifen beträgt je nach Abschnitt zwei oder drei, dementsprechend ändert sich auch die Breite von 11,50 m auf 12,75 m.

In folgender Abbildung 38 werden beispielsweise für einen Teil der Hochleistungsstraße die Elemente der Geometrie, die in die Software importiert wurden, gezeigt.

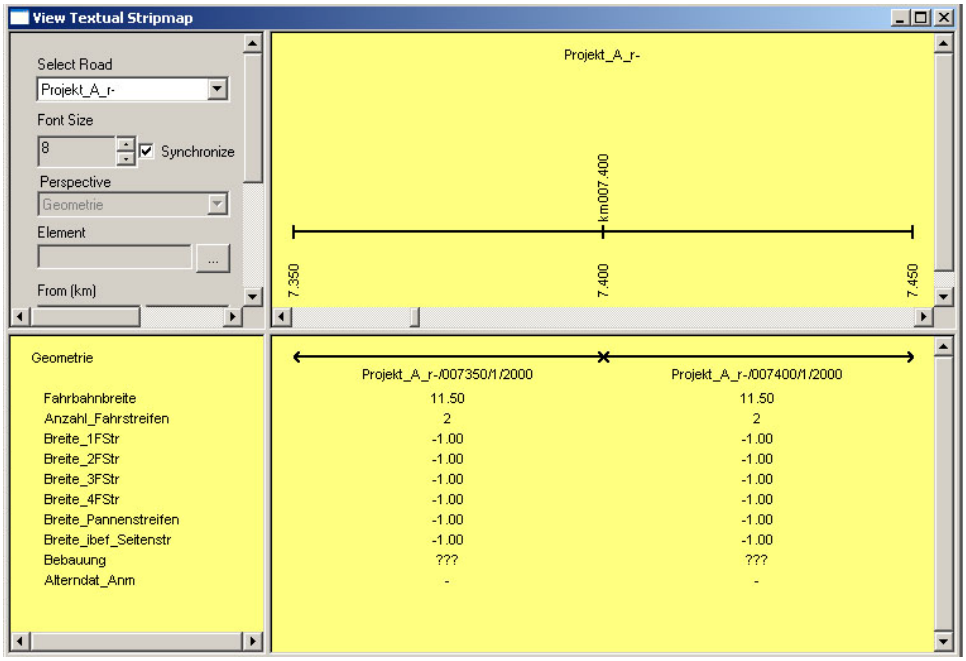


Abbildung 38: Querschnittsdaten in der Software VIAPMS™

Im oberen Bereich des Bildes ist die Kilometrierungsrichtung ersichtlich. **Projekt_A_r-** ist der Name der Strecke gegen die Fahrtrichtung. **Projekt_A_r-/007350/1/2000** enthält außer dem Namen des betrachteten Teilstücks auch die Fahrtrichtung und die Information über das Jahr, in dem diese Daten erhoben wurden.

Bei den anderen Elementen unterhalb des Names des betrachteten Teilstücks gab es keine bereitgestellte Information, aus diesem Grund ist der Wert gleich -1.

4.3 Verkehrsdaten

Die Verkehrsdaten wurden über die ganze Strecke an zwei Punkten (km 17,2 und km 31,3 in beiden Fahrtrichtungen) erhoben und stellen folgende Informationen dar:

- JDTV 2000
- JDTLV 2000
- LKW 2000
- LKW A 2000
- BUS 2000

Der JDTV 2000 ist die jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (Kfz/24 Std.) für das Jahr 2000.

Der JDTLV 2000 ist der jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehr (LKW/24 Std.) für das Jahr 2000.

LKW 2000 (Lastkraftwagen – 2,0 PKW-E/24 Std.),

LKW A 2000 (Lastkraftwagen mit Anhänger – 4,0 PKW-E/24 Std.) und

BUS 2000 (2,0 PKW-E/24 Std.)

sind Daten, die im Jahr 2000 erhoben wurden.

4.4 Aufbaudaten

Die Aufbaudaten enthalten folgende Informationen:

- S1A, S2A,..., S7A
- S1M, S2M,..., S7M
- S1D, S2D,..., S7D
- S1J, S2J,..., S7J

S1A gibt Auskunft über die erste Schichtart (z.B. Deckschicht Asphaltbauweise, gebundene Tragschicht Asphaltbauweise, ungebundene obere Tragschicht, ungebundene untere Tragschicht), S7A über die siebente Schichtart. Die Zahlen von 1 bis 7 zeigen die Nummer der Schicht an.

Der Buchstabe M ist das Schichtmaterial (z.B. Dünnschichtdecke, Asphaltbeton, Splittmastikasphalt, Drainasphalt, usw.), D ist die Dicke [cm] und J das Baujahr der jeweiligen Schicht.

In Abbildung 39 sind die Bauweise und der Bautyp von vier Abschnitten ersichtlich.

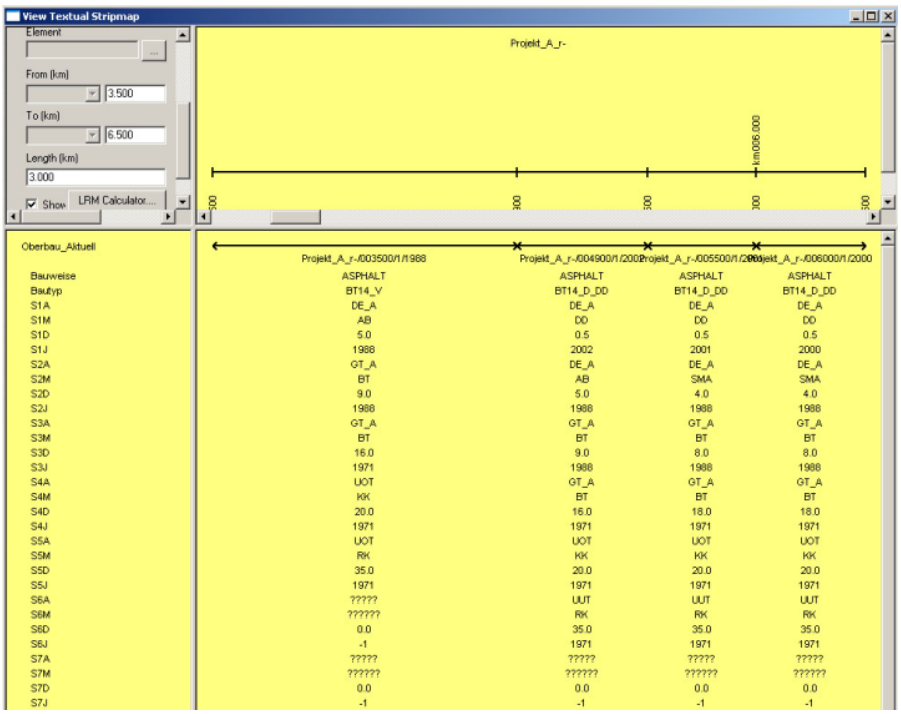


Abbildung 39: Oberbaudaten in der Software VIAPMS™

Die Bauweise ist Asphalt für alle vier Abschnitte, der Bautyp für den ersten Abschnitt ist eine konventionelle Asphaltbauweise mit einer ehemals durchgeführten Verstärkungsmaßnahme. Die folgende drei sind ebenfalls in konventioneller Asphaltbauweise ausgeführt, weiters erfolgte vor Beginn der Analyseperiode eine Deckschichtmaßnahme in Form einer Dünnschichtdecke.

Für Daten, wo -1 oder Fragezeichen steht, gibt es keine bereitgestellten Informationen.

4.5 Zustandsdaten

Diese Daten enthalten Informationen über den Zustand dieser Strecke, wie Spurrinnen, Längsebenheit, Griffigkeit und das dazugehörige Messjahr. Sie beziehen sich derzeit nur auf den jeweils rechten Fahrstreifen.

Mit folgender Abbildung (siehe Abbildung 40) werden die messtechnischen Zustandsdaten für drei Abschnitte in Kilometrierungsrichtung dargestellt.

Die Spurrinnen werden in [mm] (unter der 2m-Latte) bestimmt, für die Längsebenheiten wird der International Roghness Index (IRI) in [m/km] angegeben. Griffigkeit ist in Form des dimensionslosen Reibungsbeiwertes erfasst.

Für den kritischen Abschnitt gibt es keine bereitgestellte Information, dieser wird erst im Zuge der Bewertung der Abschnitte ermittelt.

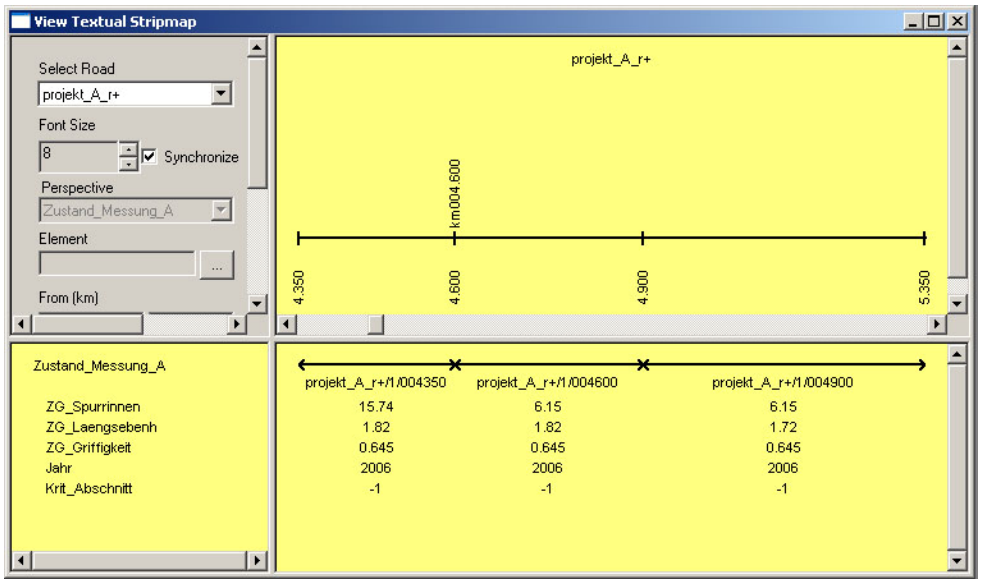


Abbildung 40: Messtechnische Erfassungsdaten in der Software VIAPMS™

Es wurden auch aktuelle Informationen aus der visuellen Zustandserfassung berücksichtigt. Diese Daten enthalten für die ganze Strecke in beiden Fahrtrichtungen Informationen über die Oberflächenschäden und Flicken (durch drei Klassen der Schadensschwere, wie auch in Prozent der betroffenen Fläche klassifiziert), sowie über die Risse. Sie können verschiedene Typen (einzelne Risse, Netzrisse, Nahtrisse)

aufweisen und werden nach der Länge (in Meter), in Prozent der betroffenen Fläche wie auch in drei Klassen der Schadensschwere beurteilt.

4.6 Maßnahmenkatalog

Wie in Abschnitt 3.2.10 erwähnt wurde, stellt der Maßnahmenkatalog eine Liste möglicher Erhaltungsmaßnahmen mit folgenden Informationen dar: Art der Maßnahme, Kosten, Auswirkung der Maßnahmen auf den Straßenzustand etc. Ob eine Maßnahme auf einem zu untersuchenden Abschnitt angewendet werden kann, wird durch die Festlegung so genannter Anwendungsgrenze definiert [22].

In nachfolgender Tabelle 3 werden die im System enthaltenen Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen gezeigt.

Auf der gesamten Strecke wird nur Asphaltbauweise eingesetzt und daher auch nur diese Maßnahmen berücksichtigt. Die Grundlage für die in dieser Tabelle aufgelisteten mittleren Nettokosten sind die in Bulgarien gesammelten Kosteninformationen des Jahres 2006.

Tabelle 3: Maßnahmen- und Kostenkatalog

Abk.	Typ	Beschreibung	Nettokosten in EURO/m^2
IS_Fräsen (H_FR)	Instandsetzung Fräsen	Abfräsen eines Teils oder der gesamten Deckschicht, (3-5 cm)	1,-
IS_Dünnschichtdecke (I_OB)	Instandsetzung mit Dünnschichtdecke	Aufbringen einer Dünnschichtdecke auf die bestehende Asphaltbefestigung	14,-
IS_Decke (I_DE)	Instandsetzung mit konv. Decke	Fräsen der alten Deckschicht und Aufbringen einer neuen bituminösen Deckschicht, (2-4 cm)	15,-
IS_Verstärkung (I_VT)	Instandsetzung durch Verstärkung	Fräsen der Deckschicht und Aufbringen einer neuen Trag- und Deckschicht, 12 cm	29,-
IS_Flickstellen (H_FL)	Instandsetzung Flickstellen	Ausbessern eines Teils der Deckschicht	30,-
EN_Asphalt (AS)	Erneuerung in Asphaltbauweise	Abtrag und Neubau des gesamten gebundenen Oberbaus in Asphaltbauweise, (23-25 cm)	45.-

Mit dieser Information werden für verschiedene Elemente die Kosten für die Erhaltungsmaßnahmen abgeleitet, wobei eine Vereinheitlichung der unterschiedlichen Maßnahmen durchgeführt wird.

Bei der Festlegung der Erhaltungsmaßnahmen in VIAPMS^{TM} wurde für jedes Element diese Erhaltungsmaßnahme definiert, wobei die Berechnung der Kosten der Maßnahmen in Abhängigkeit vom Zustand und der Befestigungsart erfolgt. Die Initialisierung einer Erhaltungsmaßnahme bzw. –strategie erfolgt bei Überschreitung von zumindest einem Zustandswert eines Elements in der Höhe von 3,5. Dieser Wert wird im österreichischen Bewertungssystem als Warnwert definiert und gilt als unterste Grenze für die Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme [2].

In nachfolgender Abbildung 41 wird eine einfache Darstellung der Anwendungsbereiche in Matrizenform dargestellt. Diese Anwendungsbereiche von Erhaltungsmaßnahmen liegen in der Festlegung von Grenzwerten des Substanz- und des Gebrauchswertes.

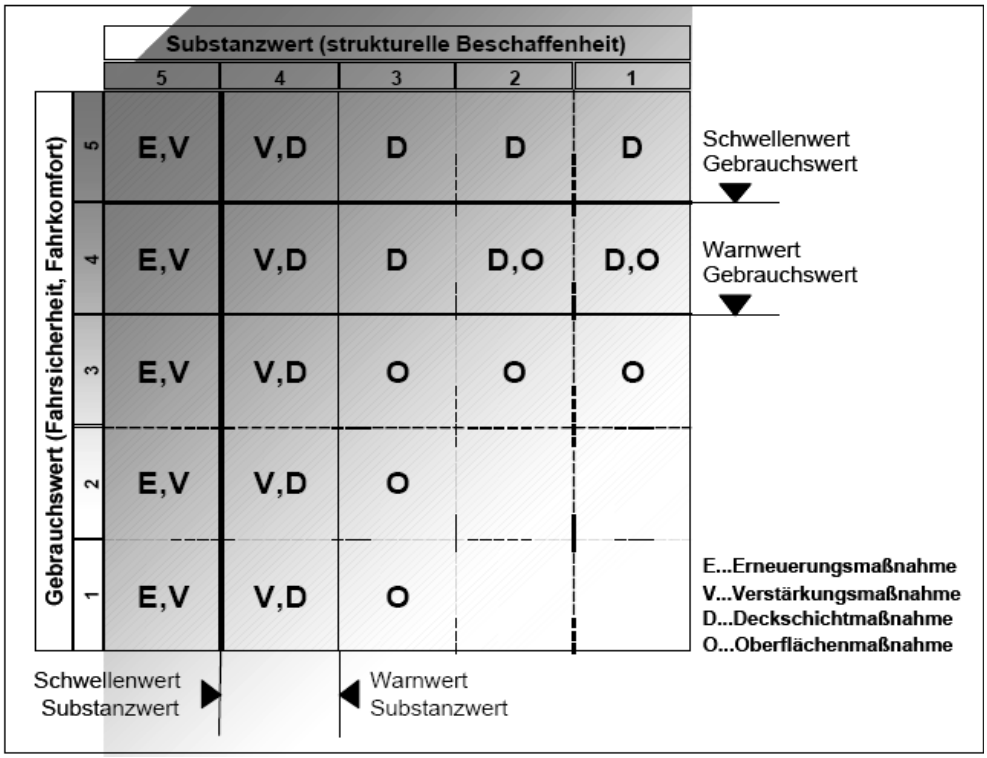


Abbildung 41: Beispiel für die Festlegung von Anwendungsbereichen nach [3]

Wenn der Gebrauchs- und Substanzwert unterhalb des Warnwertes (3,5) liegt, dann bedarf es keiner Erhaltungsmaßnahme.

4.7 Budgetszenarien

In der vorliegenden Arbeit werden die unten betrachteten Budgetszenarien festgelegt. Nach der Erstellung des Berechnungsalgorithmus wurden die einzelnen Untersuchungsabschnitte der PMS-Analyse unterzogen, wobei in einem ersten Schritt für jeden Abschnitt eine Reihe möglicher Erhaltungsstrategien generiert wurde und in einem zweiten Schritt für unterschiedliche budgetäre Randbedingungen (Budgetszenarien) die Optimierung erfolgte [3]. Im Rahmen der Optimierung wurden folgende Budgetszenarien betrachtet:

- Szenario „Basis Budget“: Budgetszenario mit jährlichen Geldmitteln von 30.000 €/Jahr, für kleinflächige Maßnahmen
- Szenario „Minimum Budget“: Budgetszenario mit minimalen jährlichen Geldmitteln von 1,2 Mio. €/Jahr für die bauliche Instandsetzung
- Szenario „Mittel Budget“: Budgetszenario mit mittleren jährlichen Geldmitteln von 2,1 Mio. €/Jahr für die bauliche Instandsetzung
- Szenario „Maximum Budget“: Budgetszenario mit maximalen jährlichen Geldmitteln von 3,3 Mio. €/Jahr für die bauliche Instandsetzung
- Szenario „Extramaximum Budget“: Budgetszenario mit extramaximalen jährlichen Geldmitteln von 7,0 Mio. €/Jahr

Die Auswahl der Maßnahmen hängt grundsätzlich von den zur Verfügung stehenden Geldmitteln ab. Jene mit dem größten inkrementellen Nutzen-Kosten-Verhältnis werden im Rahmen der Optimierung zunächst als Erstlösung herangezogen.

Die Entwicklung des Gesamtwertes erfolgt in Abhängigkeit der einzelnen Budgetszenarien. Für das erste Szenario „Basis Budget“ ist die dargestellte Summe wesentlich geringer im Vergleich zu den anderen, weil die verfügbaren Mittel an die vorhandenen Daten einer Autobahnstrecke in Bulgarien angepasst wurden. Hierzu ist anzumerken, dass auf dieser Strecke im betrachteten Jahr hauptsächlich kleinflächige Maßnahmen durchgeführt wurden und es gab keine gültige Information über die Zustandsdaten.

Der Maßnahmenzeitraum wurde mit 19 Jahren (von 2007 bis 2026) angesetzt, ab dem Jahre 2016 erfolgt die Berechnung in 2-jahres Sprüngen. Das bedeutet auch doppeltes Budget für diese Jahre, z.B. für Szenario „Mittel Budget“ für Jahre 2016-2022 stehen ungefähr 4,2 Mio. € zur Verfügung (siehe Tabelle 8).

4.8 Ergebnisse der Datenanalyse

4.8.1 Allgemeines

Die Datenanalyse stellt jenen Prozess im System dar, der im Wesentlichen automatisiert im Rahmen der Anwendung der Software VIAPMS™ durchgeführt wird. Die Grundlagen für diesen Prozess wurden in Kapitel 3.2.11 beschrieben.

Wenn man die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung wie auch die Optimierung auf die Daten eines Straßennetzes anwendet, dann stehen die verwendeten Eingangsgrößen (Nutzen, Gesamtkosten) des Analyseprozesses zur Verfügung. Diese Ergebnisse können in zwei Gruppen unterschieden werden:

- Netzbezogene Ergebnisse: Aussage über Kosten- und Zustandsentwicklung, bezogen auf das gesamte untersuchte Straßennetz.
- Abschnittsbezogene Ergebnisse: Maßnahmenvorschläge für jeden untersuchten Straßenabschnitt

Der Auswertung wurde eine Maßnahmenperiode von 19 Jahren zu Grunde gelegt. Man muss die Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen am Ende der Maßnahmenperiode berücksichtigen. Das bedeutet, dass die Zustandsentwicklung über diese Analyseperiode untersucht wird, um ein optimales Ergebnis zu finden.

Im nachfolgenden Kapitel werden die netzbezogenen Ergebnisse der einzelnen Budgetszenarien dargestellt und Vergleiche gezogen.

4.8.2 Netzbezogene Ergebnisse

Netzbezogene Ergebnisse geben einen Überblick über die Entwicklung des gesamten untersuchten Straßennetzes in Abhängigkeit von den jährlich zur Verfügung stehenden Budgetmitteln. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen tabellarisch und graphisch die Entwicklung des Gesamtwertes in verschiedenen Szenarien. Die folgenden Graphiken wurden direkt aus der Software VIAPMS™ entnommen.

In allen Kostenverteilungen beziehen sich H_BP (Auswechslung der Betonplatten) und E_BE (Erneuerung des Betons) nur auf Betondecken. Diese kommen aber nicht zur Anwendung, weil im betrachteten Straßenabschnitt nur Asphaltdecken anzutreffen sind.

Szenario „Basis Budget“ (30.000 €/Jahr):

Tabelle 4: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Basis Budget“

Jahr	sehr gut [%]	gut [%]	mittel [%]	schlecht [%]	sehr schlecht [%]
2007	0	11,1	26,62	56,85	5,41
2008	0	8,73	25,02	60,19	6,03
2009	0	5,16	22,04	65,27	7,51
2010	0,1	5,16	19,3	67,36	8,06
2011	0,1	4,75	12,05	70,14	12,94
2012	0	0,46	11,97	70,94	16,61
2013	0	0,33	11,06	64,2	24,39
2014	0	0,33	5,82	68,41	25,42
2015	0	0,2	5,06	68,03	26,69
2016	0	0,23	3,44	68,34	27,98
2018	0	0,46	0,2	70,66	28,66
2020	0	0,69	0	64,24	35,05
2022	0	0	1,09	62,38	36,52
2024	0	0	1	59,14	39,85

Die Ergebnisse in Tabelle 4 zeigen die Entwicklung der Prozentanteile des gesamten betrachteten Streckennetzes die sich in den jeweiligen Zustandsklassen, in der Jahrperiode 2007-2024, befinden. Daraus lässt sich ableiten, wann Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Die verschiedenen Zustandsklassen haben die Bereiche von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht).

In nachfolgender Abbildung 42 wird die graphische Darstellung der oben genannten Zustandsergebnisse gezeigt.

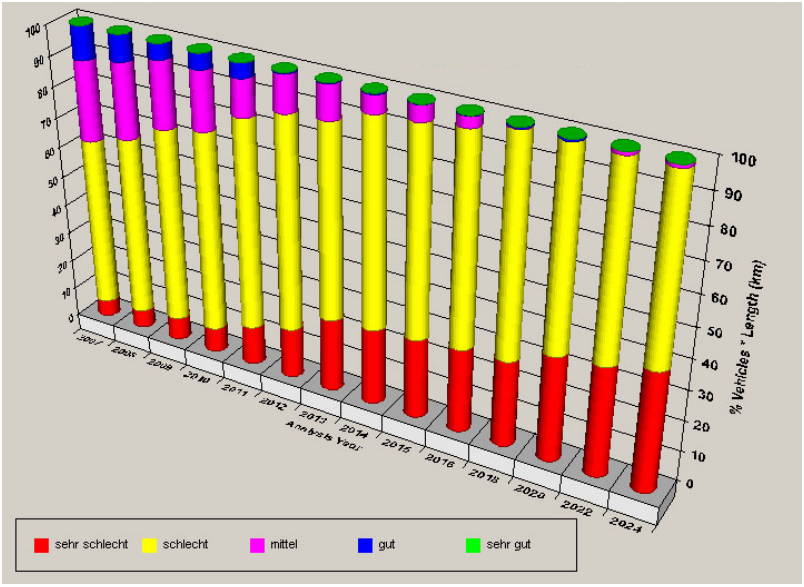


Abbildung 42: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Basis Budget“

In Abbildung 42 kann auf dem untersuchten Straßennetz eine progressive Verschlechterung des Straßenzustandes festgestellt werden. Nach dem Jahr 2012 ist ein großer Anstieg des Anteils in der Zustandsklasse 5 (sehr schlecht) ausgewiesen. Am Ende der Maßnahmenperiode befinden sich mehr als 95% der Strecke im schlechten und sehr schlechten Zustand. Die Verschlechterung des Straßenzustandes kann mit Hilfe dieser zur Verfügung stehenden Geldmittel nicht angehalten werden und es kommt sehr rasch zu einem nicht zumutbaren Straßenzustand (sowohl von Seiten des Komforts als auch von Seiten der Sicherheit).

In Tabelle 5 und Abbildung 43 sind die Kosten für bestimmte Maßnahmen in der Jahesrperiode 2008-2024 ersichtlich.

Tabelle 5: Kosten für das Szenario „Basis Budget“

Jahr	Flickstellen Fräsen [€]	Instand-setzung [€]	Gesamt [€]
2008	10535,08	17596,72	28131,8
2009	11196,79	17772,69	28969,48
2010	29990,85	0	29990,85
2011	8847,4	21018,88	29866,28
2012	11243,09	18311,22	29554,31
2013	9568,8	18494,33	28063,14
2014	8876,39	18679,27	27555,67
2015	9212,93	18866,07	28079
2016	37496,39	22368,59	59864,99
2018	32019,68	22592,28	54611,96
2020	6648,01	52481,87	59129,88
2022	11087,87	46092,77	57180,65
2024	8483,11	45111,34	53594,46

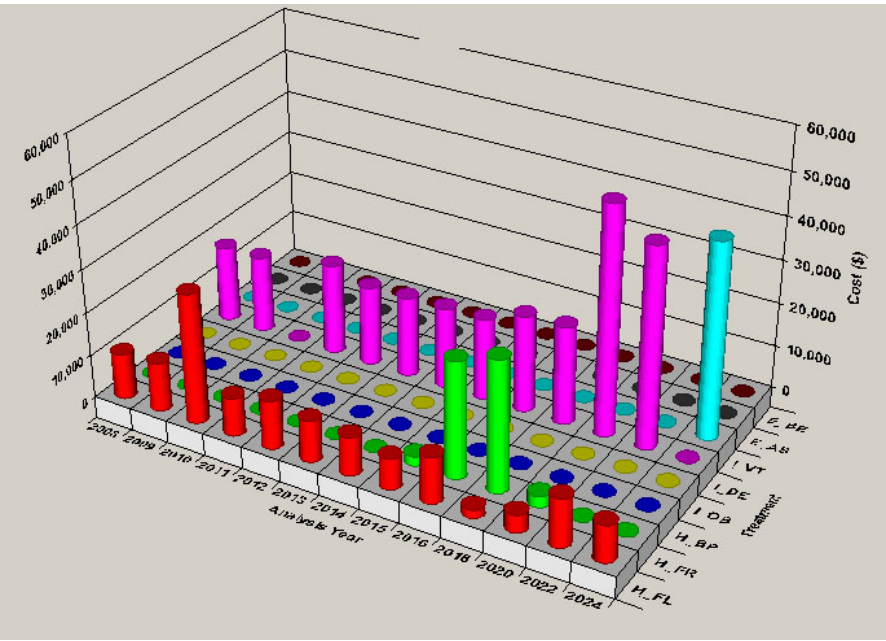


Abbildung 43: Kostenverteilung für das Szenario „Basis Budget“

In Abbildung 43 werden die Kosten der verschiedenen Maßnahmen für jedes Analysejahr dargestellt. Es ist ersichtlich, dass hauptsächlich zwei Erhaltungsmaßnahmen (Flickstellen und IS_Decke) für die ganze Periode zur Anwendung kommen. In den Jahren 2016-2018 hat das Fräsen die größte Bedeutung. Die Verstärkung wird nur im Jahr 2024 eingesetzt. Diese Verteilung stellt sich aufgrund der begrenzten budgetären Mittel und der vorhandenen Schadensbilder (schlechte Oberflächeneigenschaften und große Rissbildung) ein.

Szenario „Minimum Budget" (1,2 Mio. €/Jahr):

Tabelle 6: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Minimum Budget"

Jahr	sehr gut [%]	gut [%]	mittel [%]	schlecht [%]	sehr schlecht [%]
2007	0	11,1	26,62	56,85	5,41
2008	0	8,73	25,02	60,19	6,03
2009	2,06	8,24	22,76	59,52	7,39
2010	5,12	10,39	20,16	57,95	6,36
2011	6,62	13,01	13,65	56,91	9,79
2012	3,86	14,59	14,16	55,18	12,19
2013	2,88	9,23	22,16	47,39	18,32
2014	1,8	12,95	17,67	52,37	15,19
2015	0,22	15,05	18,62	51,7	14,38
2016	0,96	14,21	9,87	61,5	13,44
2018	1,74	10,51	11,82	62,13	13,77
2020	3,58	9,46	11,2	54,1	21,63
2022	8,25	6,27	14,27	55,79	15,4
2024	3	12,14	6,65	57,34	20,84

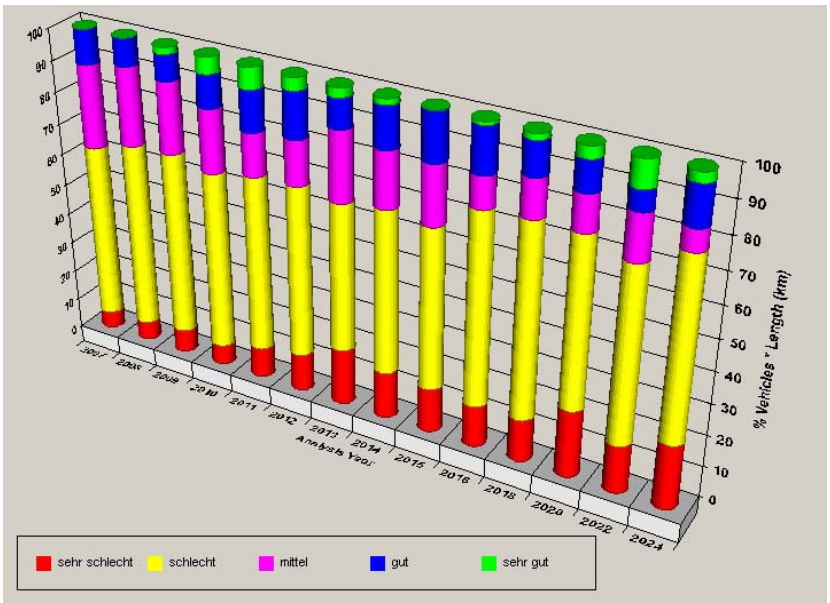


Abbildung 44: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Minimum Budget"

Als zweites Budgetszenario wurde das Szenario „Minimum Budget“ berechnet. In Tabelle 6 und in Abbildung 44 muss angemerkt werden, dass ein geringer Anstieg des Anteils (sehr schlecht) festgestellt werden kann (im Jahr 2013 und 2020). Die Zustandsklasse 4 (schlecht) weist einen annähernd konstanten Anteil von etwa 70% an der Gesamtverteilung auf.

Die Verschlechterung des Netzes kann nicht aufgehalten werden, es ist jedoch durchaus möglich auch tiefgreifende Maßnahmen durchzuführen und Teile des Netzes in Klasse 1 (sehr gut) zurückzuführen. Betrachtet man aber das gesamte Netz, kommt es allmählich zu einer Verschlechterung des Gesamtzustandes.

Szenario „Mittel Budget“ (2,1 Mio. €/Jahr):

Nachfolgend wird die Zustandsentwicklung für das Budgetszenario „Mittel Budget“ beschrieben (siehe Tabelle 7 und Abbildung 45)

Tabelle 7: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Mittel Budget“

Jahr	sehr gut [%]	gut [%]	mittel [%]	schlecht [%]	sehr schlecht [%]
2007	0	11,1	26,62	56,85	5,41
2008	0	8,73	25,02	60,19	6,03
2009	4,67	9,72	22,45	57,15	5,99
2010	9,51	11,97	19,37	53,46	5,66
2011	9,04	18,96	13,84	48,64	9,49
2012	6,54	21,46	15,45	47,69	8,83
2013	5,34	14,81	28,8	36,9	14,12
2014	2,98	18,31	26,91	42,07	9,7
2015	0,55	23,05	27,61	42,58	6,18
2016	3,59	22,59	18,35	51,44	4,01
2018	7,74	17,87	17,17	52,72	4,47
2020	7,39	18,66	16,48	44,4	13,04
2022	10,53	18,92	19,56	44,64	6,32
2024	5,43	23,22	10,85	52,23	8,25

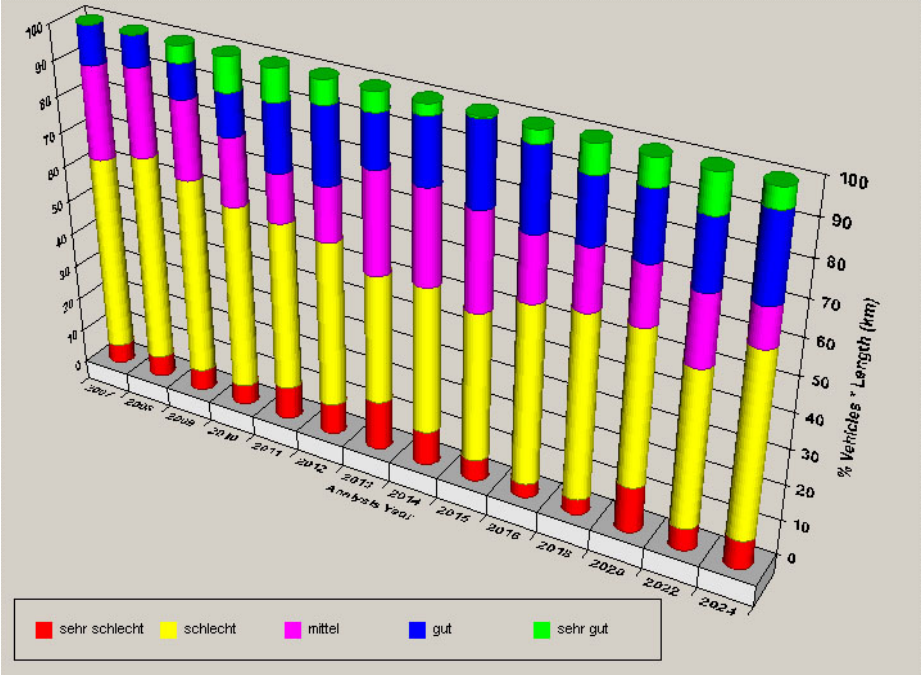


Abbildung 45: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Mittel Budget“

Dieses Szenario zeigt einen relativ konstanten Anteil der Zustandsklasse 4. Am Ende der Maßnahmenperiode ist der Prozentanteil der Zustandsklasse 4 und 5 immer noch mehr als 50%. Das bedeutet, dass keine Verbesserung des Gesamtnetzes möglich ist.

Die jährlichen Investitionen werden in Tabelle 8 und Abbildung 46 dargestellt.

Tabelle 8: Jährliche Investitionen für das Szenario „Mittel Budget“

Jahr	Flickstellen Fräsen [€]	Instandsetzung [€]	Gesamt [€]
2008	94140,69	2000933,67	2095074,36
2009	174955,42	1924867,73	2099823,15
2010	301574,61	1795418,63	2096993,24
2011	95273,53	1996278,53	2091552,06
2012	266696,5	1825352,61	2092049,12
2013	119077,62	1960325,18	2079402,81
2014	168450,31	1930172,33	2098622,64
2015	23412,79	2065502,2	2088914,99
2016	0	4197280,65	4197280,65
2018	72208,28	4109648,61	4181856,9
2020	72838,42	3989102,29	4061940,71
2022	19205,32	3357376,41	3376581,74
2024	0	1940313,4	1940313,4

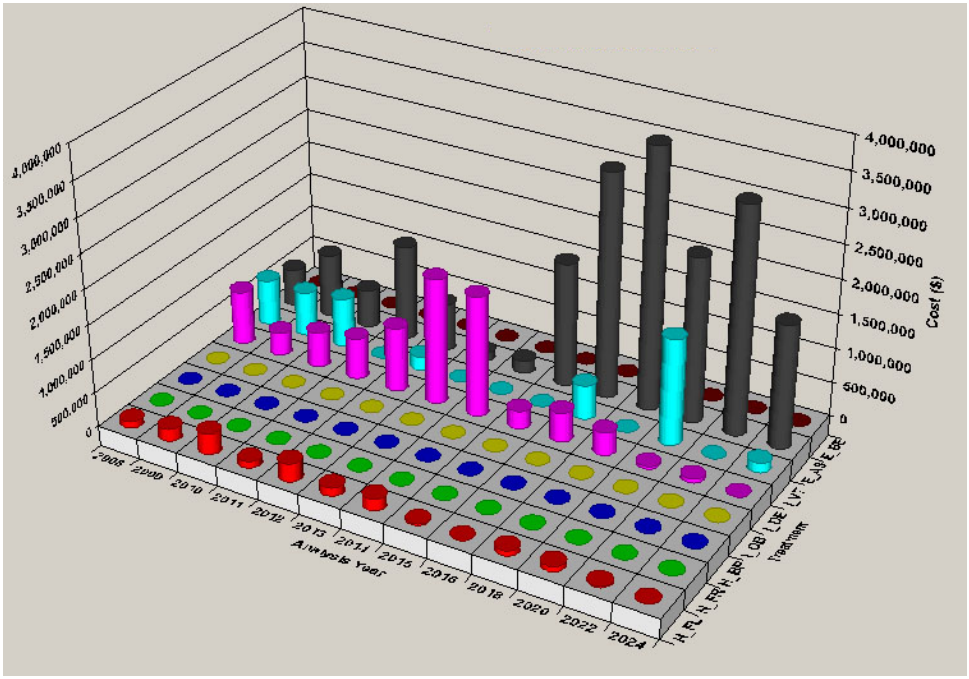


Abbildung 46: Jährliche Investitionsverteilung bezogen auf die Erhaltungsmaßnahmen für das Szenario „Mittel Budget“

Hier muss man zur Erhaltungsmaßnahme Erneuerung in Asphaltbauweise (E_AS) anmerken, dass die jährlichen Investitionen in Jahren 2016-2022 größer sind als in den vorangegangenen Perioden, da es sich auf 2 Maßnahmenjahre bezieht.

Szenario „Maximum Budget“ (3,3 Mio. €/Jahr):

In nachfolgenden Tabellen (9, 10) und Abbildungen (47, 48) sind die Ergebnisse für das Budgetszenario „Maximum Budget“ dargestellt.

Tabelle 9: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Maximum Budget“

Jahr	sehr gut [%]	gut [%]	mittel [%]	schlecht [%]	sehr schlecht [%]
2007	0	11,1	26,62	56,85	5,41
2008	0	8,73	25,02	60,19	6,03
2009	7,4	12,34	22,23	52,72	5,29
2010	13,37	16,6	20,65	44,01	5,35
2011	14,58	23,41	16,27	39,42	6,3
2012	12,92	33,34	18,4	31,14	4,18
2013	10,68	22,55	34,45	25,95	6,35
2014	9,48	31,63	29,4	27,01	2,46
2015	5,38	37,94	29,95	26,7	0
2016	3,13	37,18	13,07	45,8	0,79
2018	11,96	30,36	21,82	34,58	1,25
2020	14,03	27,75	25,78	24,91	7,51
2022	14,92	29,33	33,46	21,48	0,79
2024	3,17	37,96	18,39	18,39	0,79

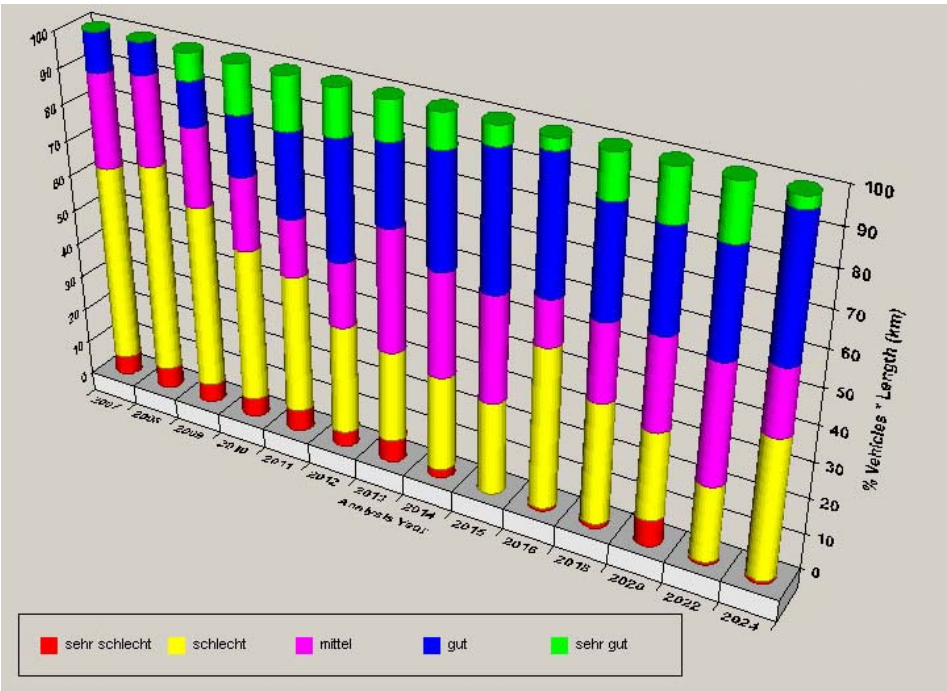


Abbildung 47: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Maximum Budget“

In diesem Fall zeigt sich, dass im Jahr 2015 nur kleine bauliche Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Der Prozentanteil der Zustandsklasse 2 (gut) bleibt in diesen Jahren konstant. Die Zustandsklasse 1 (sehr gut) zeigt einen Anstieg in Jahren 2010 – 2011 und in Jahren 2016 – 2022. Die eingesetzten finanziellen Mittel erreichen stets die Obergrenze von 3,3 Mio. € (von 2008 bis 2013). Nur in den Jahren 2014, 2015, 2022 und 2024 wird das Budget nicht voll ausgenützt.

Tabelle 10: Kosten für das Szenario „Maximum Budget“

Jahr	Flickstellen Fräsen [€]	Instandsetzung [€]	Gesamt [€]
2008	328207,1	2963436,71	3291643,82
2009	175182,65	3116209,6	3291392,26
2010	28720,67	3269364,46	3298085,13
2011	474901,7	2820680,42	3295582,12
2012	173920,56	3099495,82	3273416,38
2013	107969,92	3190313,3	3298283,23
2014	0	1856599,54	1856599,54
2015	0	603871,39	603871,39
2016	11432,83	6460599,53	6472032,36
2018	54733,57	6376314,96	6431048,54
2020	0	6577867,33	6577867,33
2022	0	1977617,39	1977617,39
2024	0	1794750,38	1794750,38

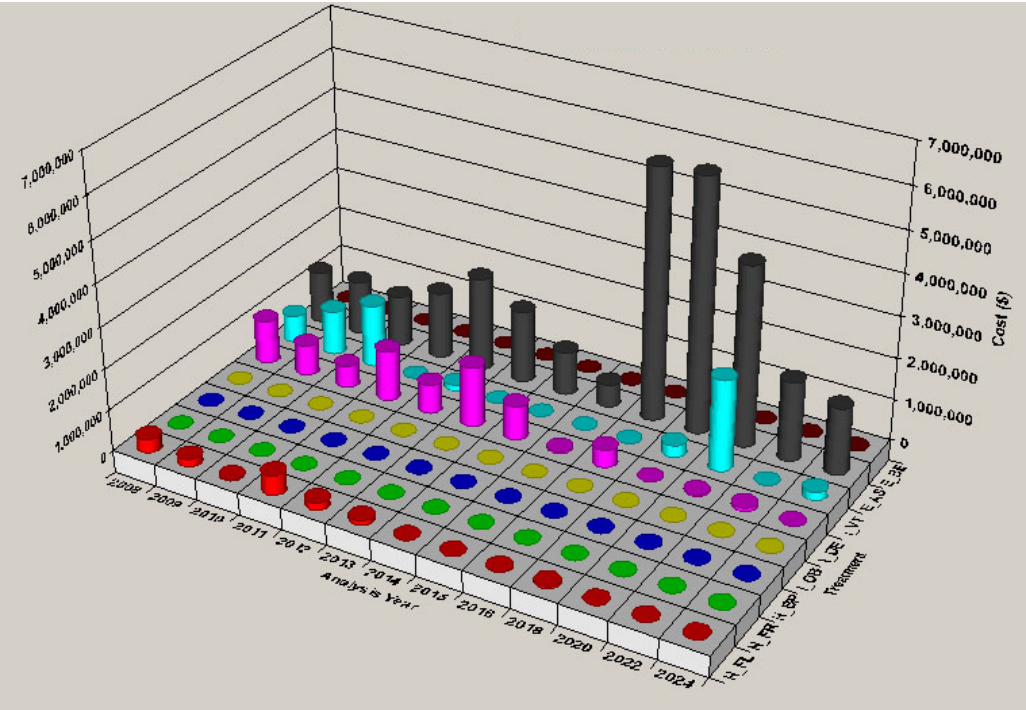


Abbildung 48: Kostenverteilung bezogen auf die Erhaltungsmaßnahmen für das Szenario „Maximum Budget“

Szenario „Extramaximum Budget“ (7,0 Mio. €/Jahr):

Tabelle 11: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Extramaximum Budget“

Jahr	sehr gut [%]	gut [%]	mittel [%]	schlecht [%]	sehr schlecht [%]
2007	0	11,1	26,62	56,85	5,41
2008	0	8,73	25,02	60,19	6,03
2009	12,89	21,08	23,27	38,92	3,82
2010	30,43	22,71	21,2	24,78	0,86
2011	36,72	34,69	14,26	13,5	0,8
2012	17,87	53,24	14,18	14,17	0,52
2013	6,33	46,11	33,61	8,01	5,91
2014	4,63	55,3	27,65	12,4	0
2015	1,76	56,84	28,3	13,08	0
2016	0,91	54,49	9,69	34,89	0
2018	21,56	28,69	37,93	11,33	0,46
2020	4,63	32,65	45,84	10,14	6,71
2022	14,47	27,32	49,44	8,76	0
2024	2,68	30,34	31,85	35,1	0

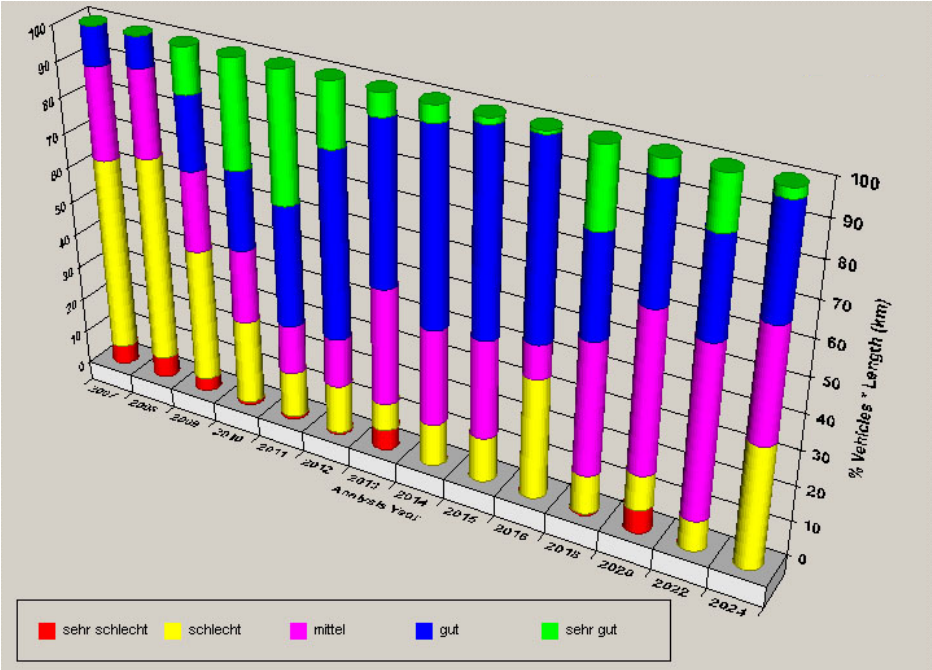


Abbildung 49: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Extramaximum Budget“

Bei der Berechnung dieses Szenarios benutzt man ein erhöhtes Budget. Dieses Szenario beantwortet die Frage hinsichtlich der maximalen Investitionen für den untersuchten Straßenabschnitt. Dabei wird ersichtlich, wann die größten Investitionen (in den Jahren 2008, 2009, 2010, 2016 und 2020) auftreten und daher als „Schwerpunktsjahre“ bezeichnet werden können (siehe Tabelle 12 und Abbildung 50).

Bei diesem Szenario zeigt sich auch, dass in Jahren 2014, 2015, 2022 und 2024 geringe bauliche Erhaltungsmaßnahmen durchführt werden müssen.

Tabelle 12: Kosten für das Szenario „Extramaximum Budget“

Jahr	Flickstellen Fräsen [€]	Instandsetzung [€]	Gesamt [€]
2008	382430,4	6614721,75	6997152,15
2009	112266,87	6836580,3	6948847,18
2010	0	6981121,56	6981121,56
2011	0	1861711,15	1861711,15
2012	0	1419976,98	1419976,98
2013	0	1901690,5	1901690,5
2014	0	75594,22	75594,22
2015	0	539883,37	539883,37
2016	0	10169645	10169645
2018	0	2909593,72	2909593,72
2020	0	6456707,44	6456707,44
2022	0	1697477,7	1697477,7
2024	0	1866132,66	1866132,66

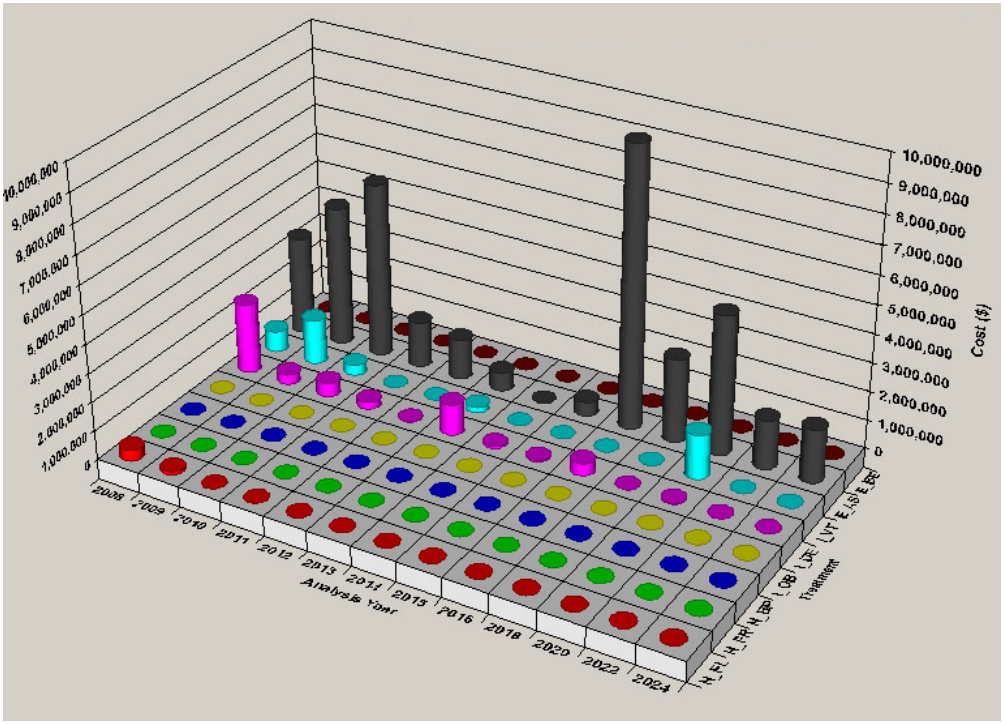


Abbildung 50: Kostenverteilung bezogen auf die Erhaltungsmaßnahmen für das Szenario „Extramaximum Budget“

Szenarienvergleich:

Die Ergebnisse der untersuchten Szenarien wurden in den nachfolgenden drei Abbildungen (51, 52, 53) sowohl den jährlichen Investitionen als auch dem Anteil in Zustandsklasse 4 und 5 sowie Zustandsklasse 1 und 2 gegenübergestellt.

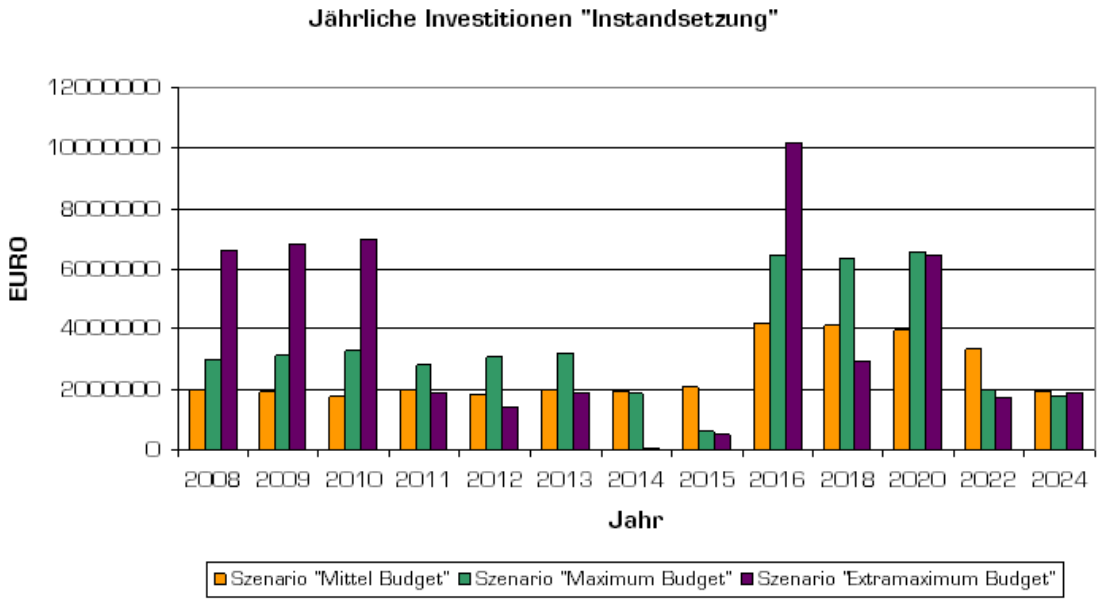


Abbildung 51: Darstellung des Szenarienvergleichs jährliche Investitionen

In Abbildung 51 ist das Szenario „Basis Budget“ nicht ersichtlich, weil das vorhandene Budget (30.000 €) sehr gering im Vergleich zu den anderen Budgetszenarien ist.

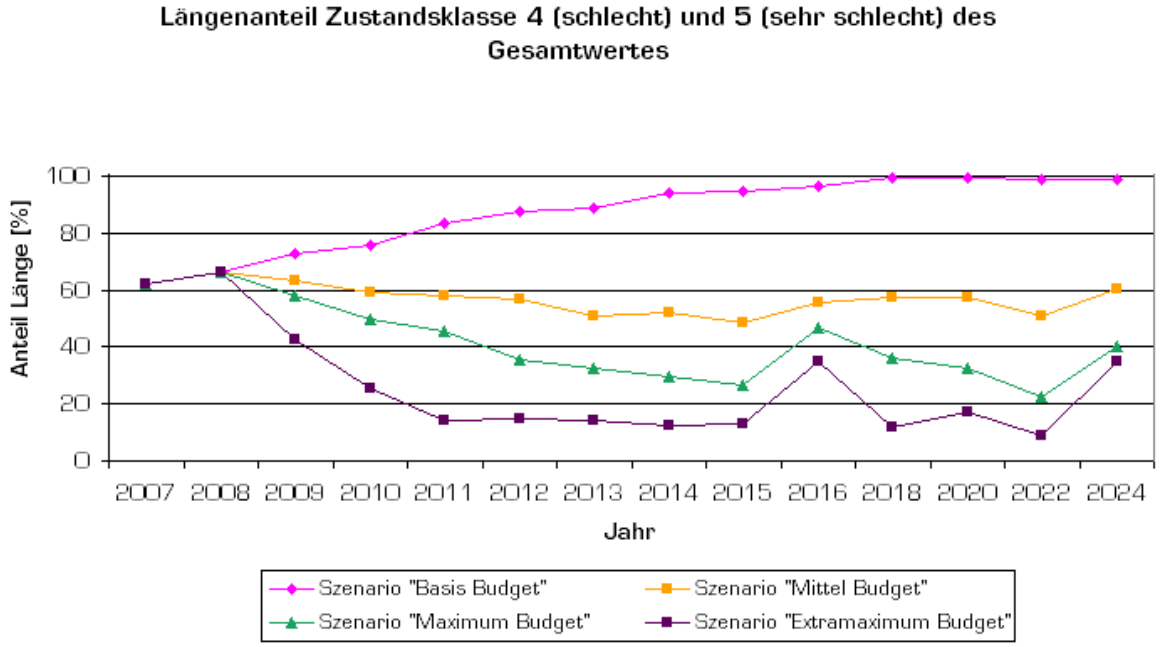


Abbildung 52: Längenanteil der Zustandsklasse 4 und 5

In beiden Abbildungen 51 und 52 wird im Szenarienvergleich festgestellt, dass im Jahr 2016 ein Hochanteil in den Szenarios „Maximum Budget“ und „Extramaximum Budget“ auftritt. Aus diesen Grund werden in diesem Jahr hohe Investitionen notwendig (besonders im Szenario „Extramaximum Budget). Dies ist auch eine Folge der geringeren Investitionen der vorangegangenen Jahre.

Das Szenario „Basis Budget“ in Abbildung 52 stellt eine steigende Funktion dar. Das bedeutet, dass die untersuchte Hochleistungsstraße in sehr schlechtem Zustand ist und das vorhandene Budget ungenügend für die notwendigen Erhaltungsmaßnahmen ist. Die Zustandsklassen 4 und 5 werden von 100 % des gesamten Streckennetzes erreicht.

Mit Ausnahme des Szenarios „Basis Budget“ ist bei Szenarien „Maximum Budget“ und „Extramaximum Budget“ der Anteil in den beiden Zustandsklassen am Ende der Betrachtungsperiode deutlich unter dem Anfangswert, sodass eine Verbesserung des Straßenzustandes mit den jeweiligen Investitionen erzielt werden kann. Im Szenario „Mittel Budget“ wird der Zustand fast auf dem gleichen Level gehalten.

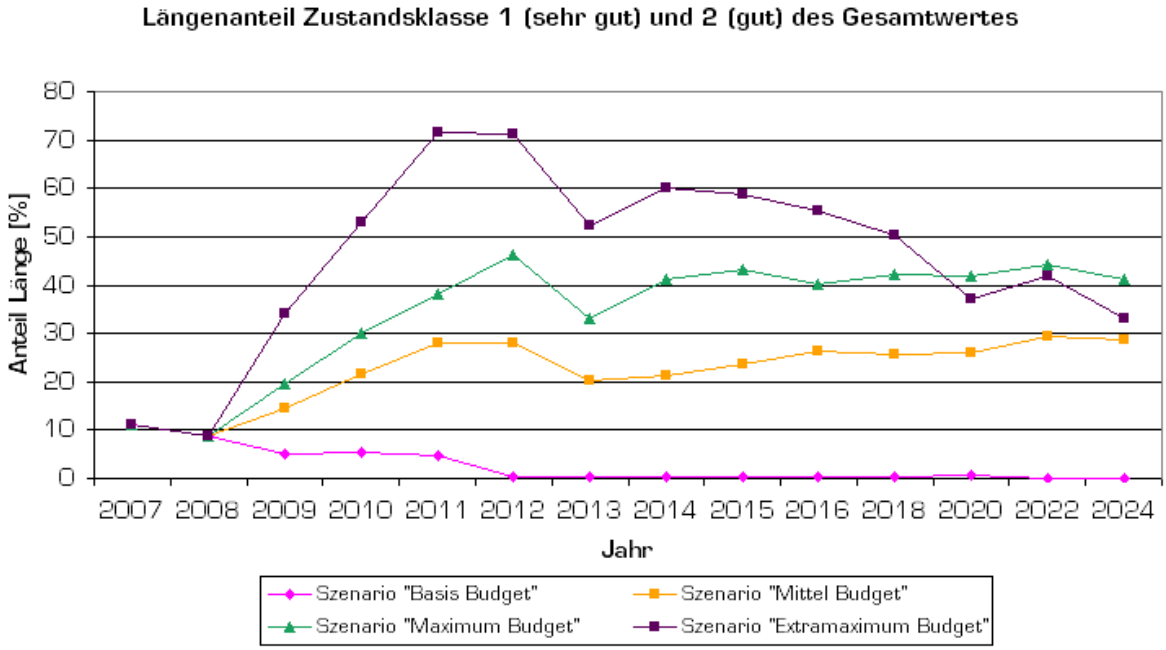


Abbildung 53: Längenanteil der Zustandsklasse 1 und 2

Im Szenariovergleich der Abbildungen 52 und 53 ist ersichtlich, dass die beiden Graphen mit ihren Werten umgekehrt sind. Das Szenario „Basis Budget“ hat einen kleinen Anteil in Zustandsklasse 1 und 2 wegen des zu geringen Budgets.

Das Besondere ist hier, dass in den Jahren 2020-2024 eine Senkung des Anteils in der Zustandsklasse 1 und 2 des Szenarios „Extramaximum Budget“ im Vergleich zum Szenario „Maximum Budget“ zu bemerken ist.

4.8.3 Abschnittsbezogene Ergebnisse

Die abschnittsbezogenen Ergebnisse stellen für jeden Erhaltungsabschnitt die optimale Erhaltungsstrategie unter Einhaltung der vorgegebenen Randbedingungen (Budgetvorgaben) dar.

In folgender Abbildung 54 wird eine Darstellung des Ergebnisses auf Projektebene mit einer bestimmten Erhaltungsmaßnahme für einen Abschnitt der Hochleistungsstraße mit vorgegebenem Budget dargestellt.

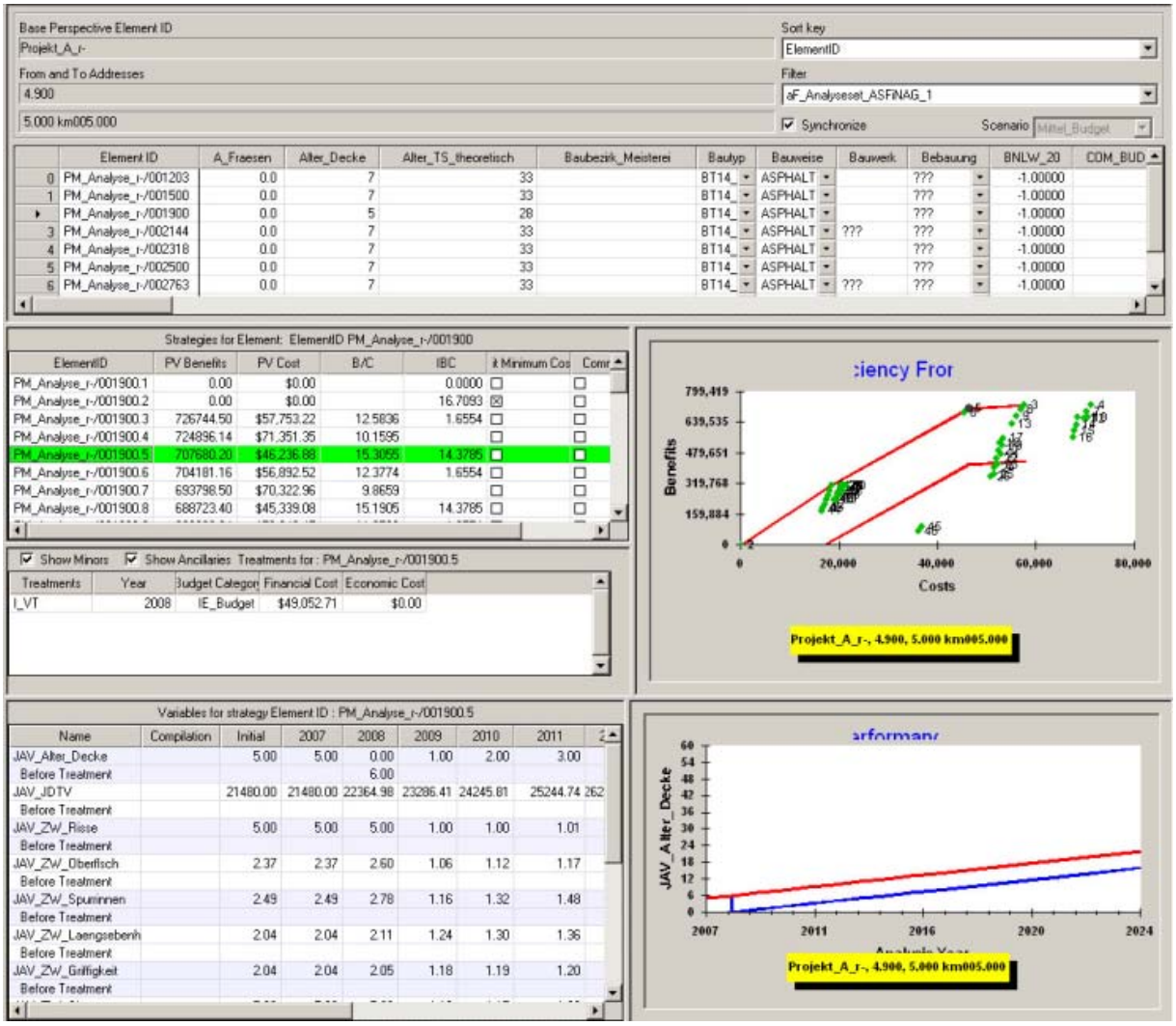


Abbildung 54: Darstellung des Ergebnisses in VIAPMS™

Durch die Auswahl eines Abschnittes in der obersten Tabelle können für jeden untersuchten Abschnitt die abschnittsbezogenen Ergebnisse dargestellt werden. Diese beinhalten:

- Strategieliste für den markierten Abschnitt:

Strategies for Element: ElementID PM_Analyse_r-/001900

ElementID	PV Benefits	PV Cost	B/C	IBC	it Minimum Cos	Comr
PM_Analyse_r-/001900.1	0.00	$0.00		0.0000	☐	☐
PM_Analyse_r-/001900.2	0.00	$0.00		16.7093	☒	☐
PM_Analyse_r-/001900.3	726744.50	$57,753.22	12.5836	1.6554	☐	☐
PM_Analyse_r-/001900.4	724896.14	$71,351.35	10.1595		☐	☐
PM_Analyse_r-/001900.5	707680.20	$46,236.88	15.3055	14.3785	☐	☐
PM_Analyse_r-/001900.6	704181.16	$56,892.52	12.3774	1.6554	☐	☐
PM_Analyse_r-/001900.7	693798.50	$70,322.96	9.8659		☐	☐
PM_Analyse_r-/001900.8	688723.40	$45,339.08	15.1905	14.3785	☐	☐

Abbildung 55: Strategieliste in VIAPMS™

Die Strategieliste enthält den Namen des betrachteten Straßenabschnittes (in diesem Fall ist die Kilometrierung gegen die Fahrtrichtung) sowie die Kosten der Erhaltungsmaßnahmen.

- Die zugehörige Maßnahmenliste befindet sich in der darunter angeordneten Tabelle

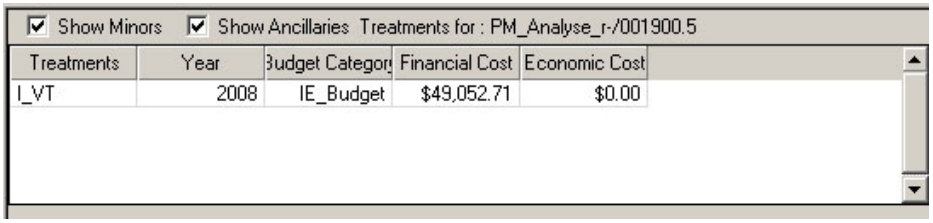


Abbildung 56: Maßnahmenliste in VIAPMS™

Sie zeigt die Kosten und wann diese Maßnahme (IS_Verstärkung), in welchem Jahr (2008), für die Anwendung vorgeschlagen wird.

- Das Effektivitätsdiagramm ist rechts von den beiden Tabellen in der Mitte des Fensters angeordnet

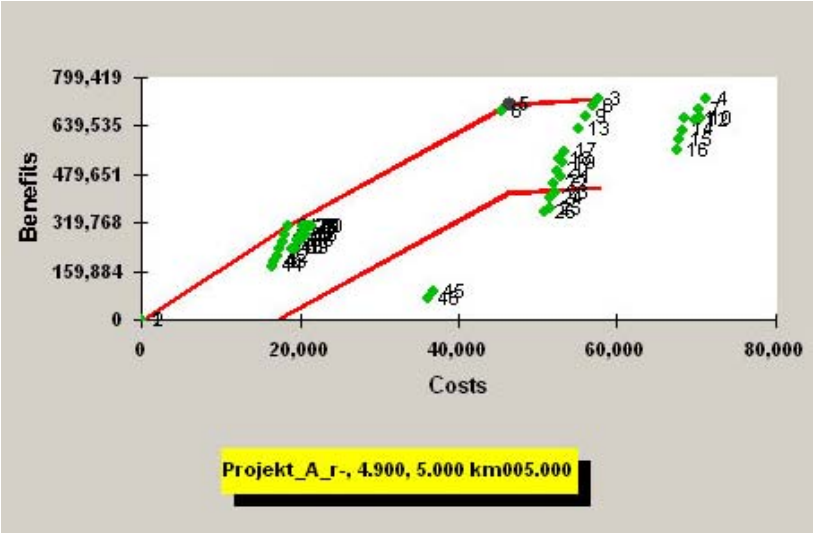
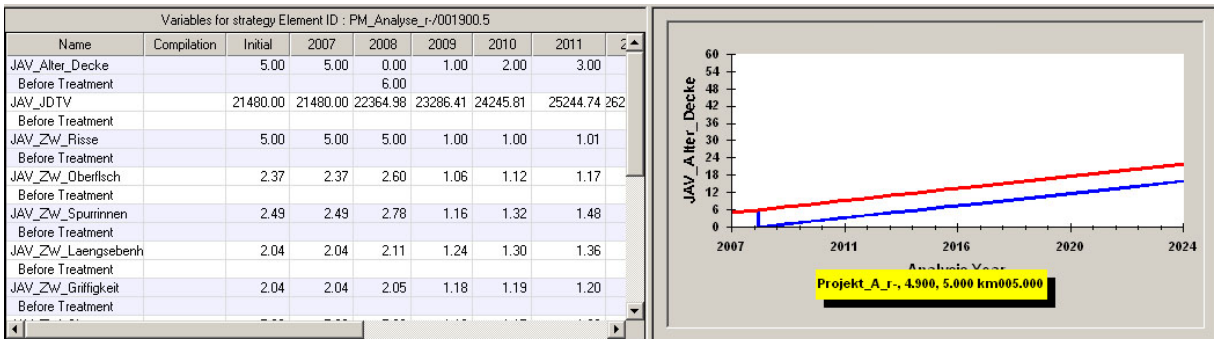


Abbildung 57: Effektivitätsdiagramm in VIAPMS™

Auf der Abszisse wird der Barwert Kosten und auf der Ordinate der Barwert Nutzen gezeigt. Aus diesem Diagramm wird eine Darstellung der Erhaltungsstrategie ersichtlich. In Abschnitt 3.2.11 ist eine Erklärung des Effektivitätsdiagramms angeführt.

- In nachfolgende Abbildung 58 wird das Alter der Decke bezeichnet.



Variables for strategy Element ID : PM_Analyse_r-/001900.5

Name	Compilation	Initial	2007	2008	2009	2010	2011	2
JAV_Alter_Decke		5.00	5.00	0.00	1.00	2.00	3.00	
Before Treatment				6.00				
JAV_JDTV		21480.00	21480.00	22364.98	23286.41	24245.81	25244.74	262
Before Treatment								
JAV_ZW_Risse		5.00	5.00	5.00	1.00	1.00	1.01	
Before Treatment								
JAV_ZW_Oberflsch		2.37	2.37	2.60	1.06	1.12	1.17	
Before Treatment								
JAV_ZW_Spurrinnen		2.49	2.49	2.78	1.16	1.32	1.48	
Before Treatment								
JAV_ZW_Laengsebenh		2.04	2.04	2.11	1.24	1.30	1.36	
Before Treatment								
JAV_ZW_Griffigkeit		2.04	2.04	2.05	1.18	1.19	1.20	
Before Treatment								

Abbildung 58: Prognosefunktionen in VIAPMS™

Die Werte in der linken Tabelle sind die dazugehörigen Grunddaten, die sich im Laufe der Zeit verändern. Die rechte Graphik zeigt wann genau diese Maßnahme (in der Abbildung 56 gezeigt) angewendet wird und wie sich der Straßenzustand dadurch verbessert.

5. ANWENDBARKEIT DES ÖSTERREICHISCHEN PMS AUF BULGARISCHE VERHÄLTNISSE

5.1 Beschreibung des bulgarischen Netzes

5.1.1 Allgemeines

Bulgarien befindet sich im Zentrum der Balkanhalbinsel im Osten Europas. Das Territorium hat eine Größe von 111 002 km^2, davon sind 110 636 km^2 Landterritorium, 102 km^2 - Inseln und 264 km^2 sind Territorium der Grenzflüsse.

Die Gesamtlänge der Straßennetze in Bulgarien ist 44 031 km, diese teilt sich in das Landesstraßennetz – 19 276 km (43,8 %) und die Kommunalstraßen – 24 755 km (56,2 %).

Das Landesstraßennetz ist in folgende Straßenarten gegliedert:

- Autobahnen – 331 km (1,7 %)
- Schnellstraßen (Straßenklasse I) – 2961 km (15,4 %)
- Bundesstraßen (Straßenklasse II) – 4012 km (20,8 %)
- Straßenklasse III – 11 730 km (60,9 %)
- Straßenknoten – 242 km (1,2 %)

Kommunalstraßen teilen sich in folgende Straßenarten:

- Straßenklasse IV – 17 969 km (72, 6 %)
- Lokalstraßen – 6786 km (27,4 %)

Das bulgarische Straßennetz enthält 9 internationale Straßen mit einer Gesamtlänge von 2580 km

- E 79 (I-1): Grenze Rumänien – Vidin – Dimovo – Montana – Vratza – Botevgrad – Sofia – Dupnitza – Blagoevgrad – Kresna – Kulata – Griechenland, 443 km (siehe Abbildung 59), (N 4)
- E 70 (I-2): Grenze Rumänien – Russe – Razgrad – Shumen – Varna, 193 km
- E 83 (I-3, I-1): Bqla – Pleven – Qblanitza – Botevgrad, 239 km
- E 772 (I-4): Koritna – Sevlievo – Veliko Turnovo – Shumen – Targovishte, 267 km
- E 85 (I-5): Russe – Bqla – Veliko Tarnovo – Gabrovo – Stara Zagora – Dimitrovgrad – Haskovo – Kardzali – Momchilgrad – Mazaka – Griechenland, 356 km (siehe Abbildung 59), (N 9)

- E 871 E773 (I-6): Grenze Makedonien – Kystendil – Radomir – Pernik – Sofia – Pirdop – Karlovo – Kazanlyk – Sliven – Burgas, 102 km (siehe Abbildung 59), (N 8)
- E 87 (I-7): Grenze Rumänien – Silistra – Shumen – Yambol – Elhovo – Granitovo – Lesovo – Grenze mit Türkai, 368 km
- E 80, E 85 (I-8): Grenze Griechenland – Kalotina – Sofia – Ichtiman – Plovdiv – Popovitza – Haskovo – Svilengrad – Kapitan Andreevo – Türkai, 378 km (siehe Abbildung 59), (N 10)
- E 87 (I-9): Grenze Rumänien – Durankulak – Baltschik – Varna – Burgas – Malko Tarnovo – Grenze mit Türkai, 234 km

Abbildung 59: Darstellung der internationalen Straßen [22]

In Abbildung 59 werden nicht alle internationalen Straßen gezeigt, sondern nur die wichtigsten für Bulgarien.

Die Dichte des Straßennetzes beträgt 0,397 km/km^2. Die Dichte des Landesstraßennetzes ist 0,174 km/km^2 und von Kommunalstraßen 0,233 km/km^2.

98,5% des Landesstraßennetzes (18 986 km) sind in gebundener Bauweise ausgeführt. In Asphaltbauweise sind 18 716 km oder 97,1 %, mit Pflaster- und Betondecken sind entsprechend 82,5 km oder 0,4 % ausgeführt.

In nachfolgender Tabelle 13 ist die Entwicklung der Länge des Straßennetzes in Bulgarien vom Jahre 1878 bis zum Jahre 2005 gezeigt.

Tabelle 13: Darstellung der Länge des Straßennetzes in Bulgarien [22]

Jahr	Landesstraßennetz [km]	Kommunalstraßennetz [km]	Gesamt [km]
1878	2511	-	2511
1887	3367	-	3367
1900	5467	359	5826
1912	6422	2454	8876
1924	6877	4988	11 865
1930	8598	7548	16 146
1940	10 603	10 318	20 921
1950	11 469	12 575	24 044
1960	10 337	17 155	27 492
1970	12 848	22 207	35 055
1985	13 325	24 269	37 594
1990	13 455	23 467	36 922
1995	13 471	23 306	36 777
2000	19 278	18 023	37 301
2002	19 280	18 016	37 269
2005	19 276	24 755	44 031

In Abbildungen 60 und 61 sind die Dichte des Straßennetzes in verschiedenen Straßenverwaltungen und ein Schema der Hauptstraßen in Bulgarien dargestellt.

In der ersten Abbildung ist ersichtlich, dass die größten Dichten des Bundesstraßennetzes in den Städten Gabrovo, Kyrdzhali und Smolyn auftreten. Für andere Straßenverwaltungen (Städte) sind fast gleiche Werte ersichtlich. Über das Landesstraßennetz kann man sagen, dass die mittleren Werte bei ungefähr 0,16 bis 0,20 km/km² liegen.

In der zweiten Abbildung sind die Hauptstraßennetze in Bulgarien gezeigt. Diese Straßen spielen eine maßgebliche Rolle für die bulgarische Verkehrsbelastung.

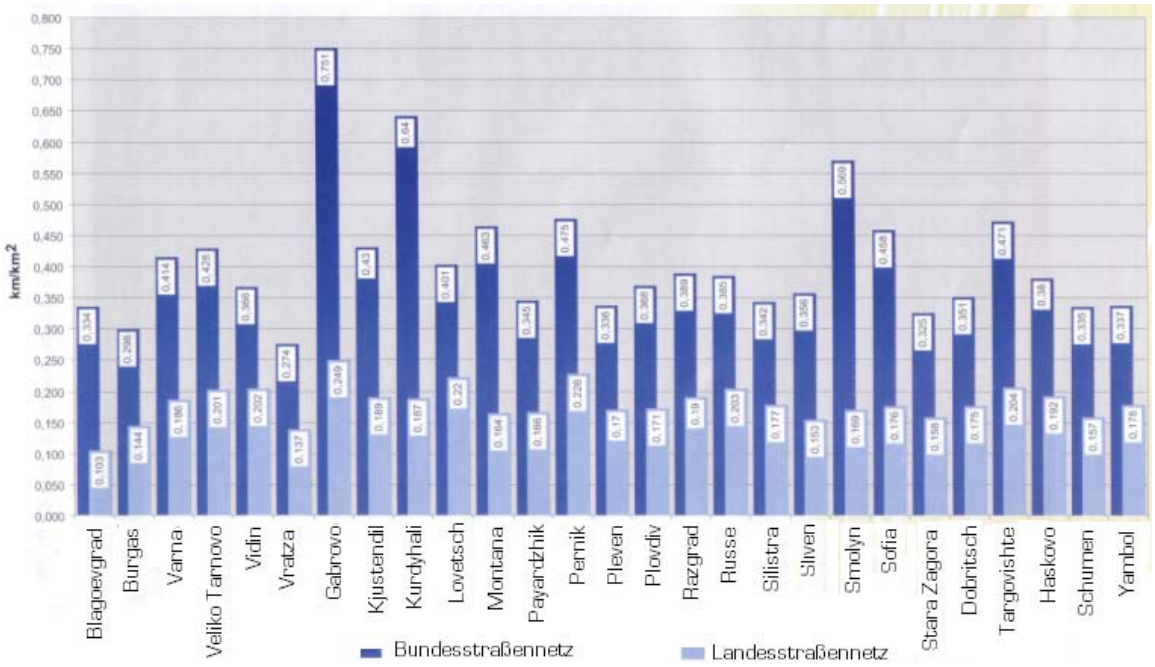


Abbildung 60: Dichte des Straßennetzes [22]

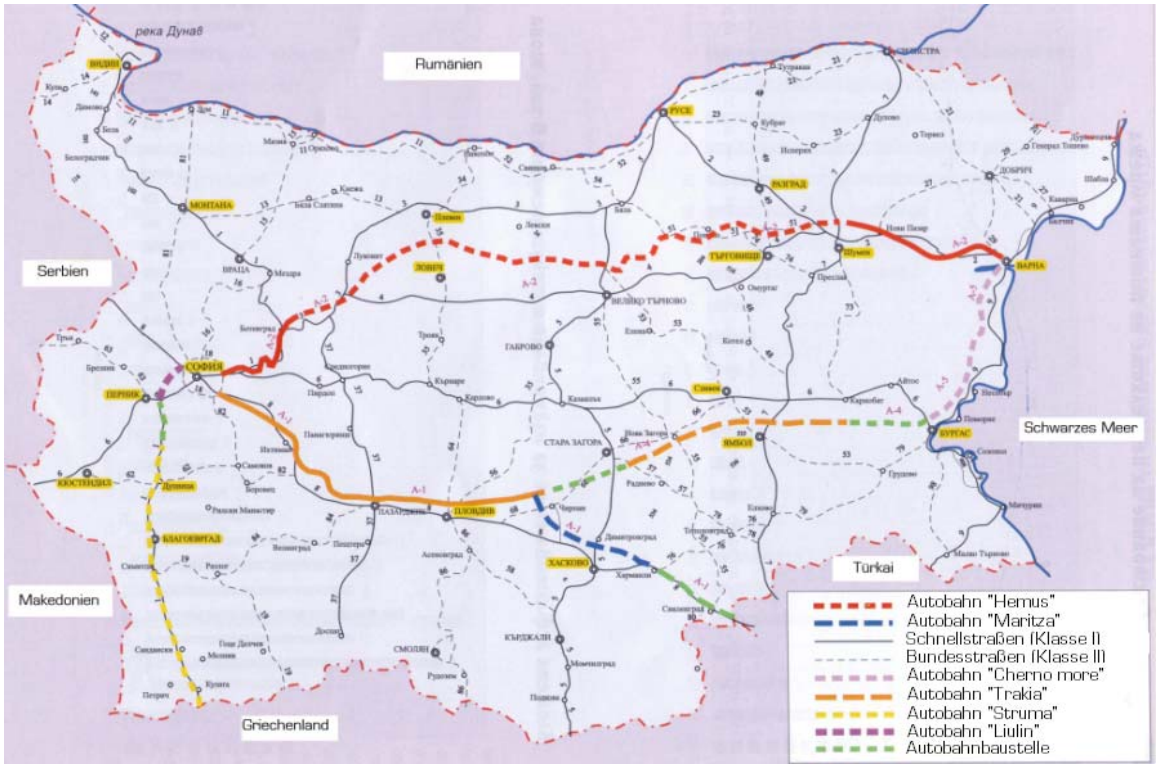


Abbildung 61: Hauptstraßennetze in Bulgarien [22]

5.1.2 Autobahnen in Bulgarien

In diesem Abschnitt wird eine kurze Beschreibung über den Zustand der bulgarischen Autobahnen und die Entwicklung von zukünftigen Projekten dargestellt.

In nachfolgender Abbildung 62 ist die Situation des Autobahnnetzes in Bulgarien gezeigt. Diese Information ist für das Jahr 2005 aktuell gewesen.

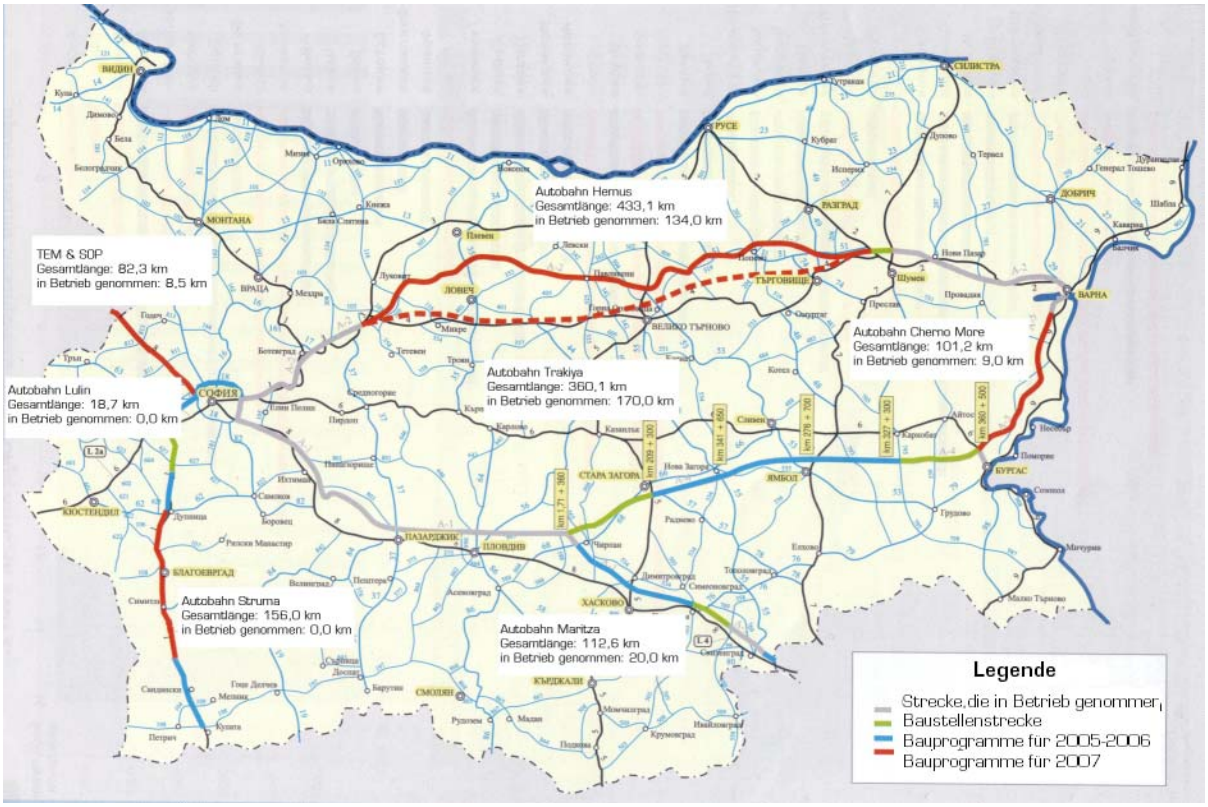


Abbildung 62: Autobahnnetz im Jahr 2005 [22]

Wie aus dieser Abbildung gesehen werden kann, gibt es viel Arbeit, um eine gute Effektivität des ganzen Straßennetzes zu erreichen. Seit einigen Jahren wurde durch die bulgarische Straßenverwaltung eine klare Strategie über den Straßenbau und die Straßenerhaltung erstellt. Im vergangenen Jahr (2007) gab es viele Geldmittel, um die dargestellten Projekte zu realisieren.

Heute wird an den Autobahnen Hemus, Trakia und Struma gearbeitet. Im Jahr 2007 begann der Bau der Autobahn Lulin, die ungefähr eine Länge von 19 km erreichen wird.

Für den Zeitabschnitt 2005-2007 wurden 319 km Neubaustrecke Autobahn fertig gestellt, von denen 117 km zur Autobahn Trakia gehören, 12 km zur Autobahn Hemus und 71 km zur Autobahn Maritza.

In den Jahren 2007-2015 sollen 275 km der Autobahn Hemus fertig gestellt werden, wie auch 92 km der Autobahn Tscherno More (Black Sea) und 137 km der Autobahn Struma. Bis Ende des Jahres 2015 werden insgesamt 504 km Autobahn gebaut sein.

In folgender Abbildung 63 wird die Dichte des Autobahnnetzes in Europa für das Jahr 2005 dargestellt.

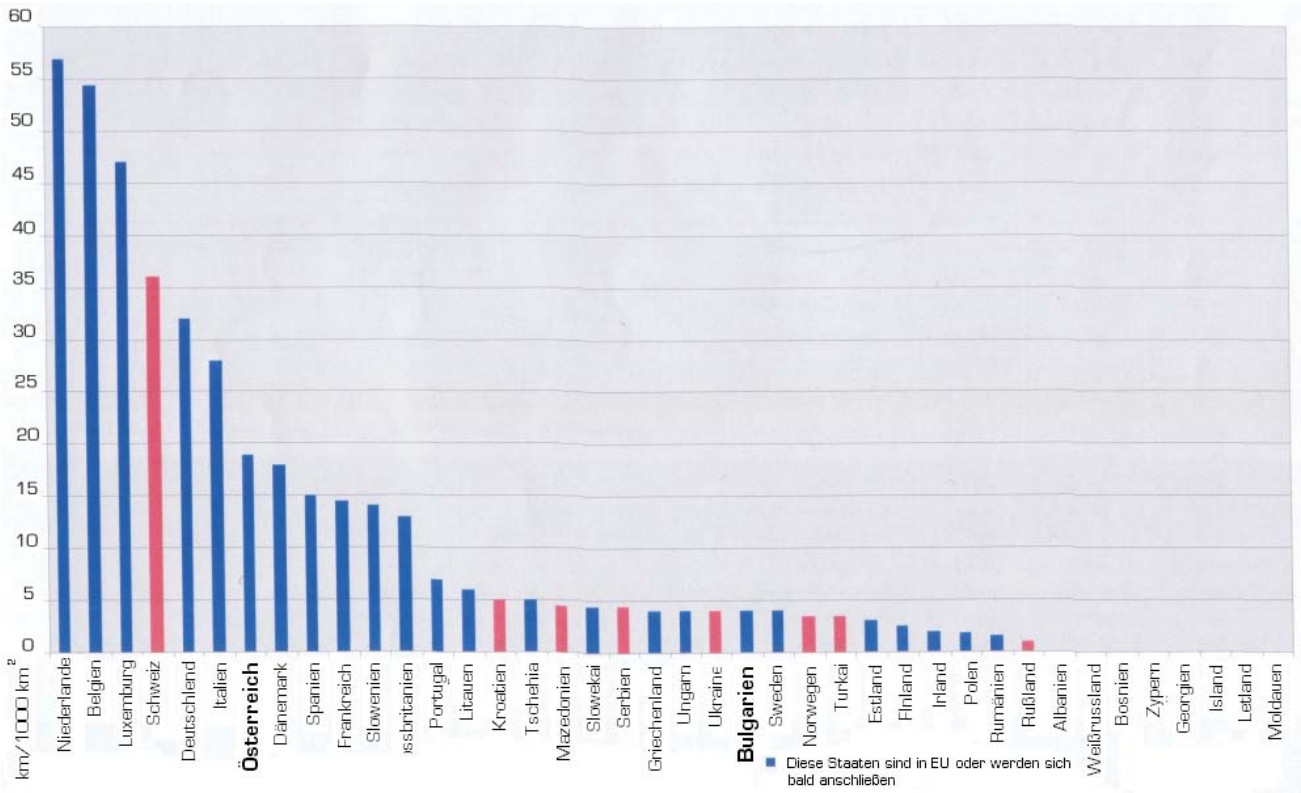


Abbildung 63: Dichte der Autobahnnetze in Europa km/1000 km² [22]

5.2 Notwendige Daten für eine Analyse des bulgarischen Straßennetzes

In Bulgarien sind generell folgende Daten für die Erhaltungsplanung vorhanden:

- Tragfähigkeit der Straßenkonstruktion
- Ebenheit
- Griffigkeit
- Zustandserfassung (visuell)

Diese Informationen werden für das ganze Straßennetz verwendet. Für die Straßen mit großer Bedeutung (Autobahnen, Schnellstraßen, Straßenklasse II) werden diese Erhaltungsdaten von der zentralen Straßenverwaltung erhoben. Die Informationen für die Straßenklasse III und IV werden von den verschiedenen Straßenverwaltungen

(Regionalniveau), die Privatfirmen für Straßenbau und Straßenerhaltung mieten, aufgenommen.

Die erhobenen Werte werden sowohl für die Abnahme, als auch für die Erhaltung des Straßensystems benutzt. Mit ihrer Hilfe wird eine gute Darstellung vom Straßennetz gebildet.

Eine ausführliche Erklärung dieser Daten und der Methoden für deren Ermittlung ist nachfolgend zusammengestellt.

Tragfähigkeit:

Die Tragfähigkeit ist ein wesentliches Merkmal des Oberbaus. Das Grundmerkmal, das für die Tragfähigkeit bestimmt wird, ist der Verformungsmodul E (MPa), der auf der Einsenkung unter einer Standardlast bei bestimmten Bedingungen berechnet wird.

In Abbildung 64 wird die Verteilung der wirkenden Lasten auf die Straßenoberfläche dargestellt.

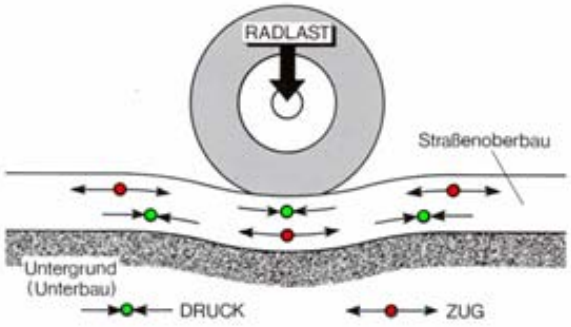


Abbildung 64: schematische Darstellung der Oberbaubeanspruchung (Zug und Druck) [20]

Die Methoden für die Bemessung und Bestimmung der Tragfähigkeit in Bulgarien sind folgende:

- Benkelman – Balken

  Der Benkelmanbalken (siehe Abbildung 65) ist ein einfaches mechanisches Deflektionsmessgerät. Über einen Hebelarm wird die Größe der Einsenkung des Messpunktes auf eine Messuhr übertragen. Es wird eine Messgenauigkeit von 5/100 mm erreicht [25].

  Das Gerät ist vier Meter lang und besteht im Wesentlichen aus folgenden Elementen:

  - Tragbalken
  - Messbalken

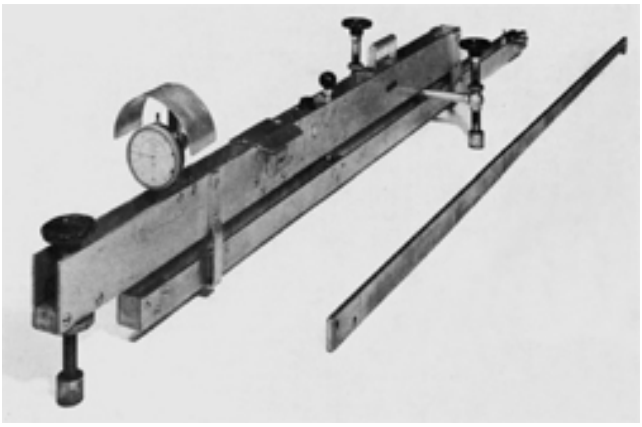


Abbildung 65: Benkelmanbalken [25]

Die Messung wird mit dem Benkelmanbalken und einem Lastwagen (zweiachsig) gemacht, die Belastung der hinteren Achse ist 100 kN.

Abbildung 66: Darstellung einer Messung mit Benkelmanbalken [26]

- Deflektometer „Lacroix“

  Dieses Gerät (siehe Abbildung 67) dient für die kontinuierliche automatische Einsenkungsmessung des Straßenoberbaus unter bestimmter Last. Es besteht aus:

  - Lastwagen mit 6t bis 13t Hinterachslast und einem Wassertank
  - Messsystem, das unter dem Lastwagen montiert ist.

Mit dem Deflektometer „Lacroix“ wird die Messung (im Intervall von 5-6 m) der Tragfähigkeit in kontinuierliche Bewegung (eine Geschwindigkeit von 3-4 km/h) gemacht, bei die Lufttemperatur muss ungefähr 20 °C sein.

Abbildung 67: Deflektometer „Lacroix“ [26]

- Deflektometer FWD

  Dieses Gerät ist für die diskontinuierliche punktweise Prüfung im Einsatz, die den Straßenzustand auf eventuelle Verstärkung oder Erneuerung der Straßenkonstruktion überprüft. Es wird gewöhnlich für Asphaltbefestigungen benutzt.

  Das Deflektometer FWD funktioniert mit einer dynamischen Belastung auf die Straßenoberfläche, in Größe und Zeitspanne ungefähr gleich der Bewegung eines Einzelreifens des Normallastwagens. Der Widerstand des Straßenkörpers wird über eine Vertikaldeformation bestimmt, gemessen für eine bestimmte Fläche mittels seismischer Geräte.

  Das System stellt einen Anhänger mit einer Plattform und eine Metallplatte dar. Diese Platte fällt von verschiedener Höhe mit einer Kraft von 7 bis 120 kN.

  Die Ergebnisse werden für die Bestimmung des Verformungsmoduls der Straße beziehungsweise der einzelnen Oberbauschichten benutzt.

Abbildung 68: Falling Weight Deflectometer (FWD) [26]

Ebenheit:

In Bulgarien wird dieses Merkmal für alle Unebenheiten (Längsebenheit, Querebenheit) der Straßenoberfläche definiert, die ungünstig auf den Fahrkomfort und die Fahrsicherheit wirken.

Die Stufe der Ebenheit wird mit der Wellenlänge λ der Unebenheiten bestimmt. Bei λ=3 cm wird die kleinste mögliche Unebenheitslänge angenommen. Wenn λ<3 cm ist, dann fällt dies unter das Merkmal Griffigkeit. Die Wellen können durch ihre Länge klassifiziert werden:

- bei λ=(0,5-3) m – Kurzwellen
- bei λ=(3-20) m – Mittelwellen
- bei λ>20 m – Lange Wellen

Die Methoden für die Messung und die Bestimmung der Ebenheit sind nachfolgende:

- Latte: (2-3) m für eine Bestimmung der Kurzwellen
- Nivellierinstrument
- APL-25

APL-25 ist ein Gerät (siehe Abbildung 69), das nach dem Prinzip des Freibewegungspendels funktioniert und die Straßenunebenheiten (0,3–15 m Länge) größer von 50 mm mit Genauigkeiten von 1 mm misst.

APL-25 dient zu einer Analyse des Längsprofils sowie einer Kontrolle der Unebenheiten. Die Ergebnisse werden in einer graphischen Darstellung der Straßenoberfläche auf Papier gezeigt und zum Koeffizient CAPL zusammengefasst.

Abbildung 69: APL-25 [26]

- Dynatest RSP 5051 Mark II

Dieses Messsystem (siehe Abbildung 70) bestimmt die Quer- und Längsebenheit bei verschiedenen Geschwindigkeiten.

Abbildung 70: The Road Surface Profiler [26]

Griffigkeit:

In Bulgarien wird die Griffigkeit durch den Reibungsbeiwert (μ) charakterisiert. Dieses Merkmal ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Eigenschaften der Straßenoberfläche (Makro- und Mikrotextur)
- Eigenschaften der Reifen: Profiltiefe, Profilart, Innendruck, Schlupf, etc

- Fahrzeug: Geschwindigkeit, Radlast, etc
- Zwischenmedium: Wasserfilm, Eis, Schnee, etc

Die Methoden für Bemessung und Bestimmung der Griffigkeit sind nachfolgende:

- Pendel nach Britisch Standard

Abbildung 71: Pendel [26]

- Messsystem WUD-2

WUD-2 stellt einen dynamischen Anhänger dar. Dieses System wurde in Russland erschaffen und misst den Reibungsbeiwert. Dieser Koeffizient wird von der Reibungskraft eines blockierten Rads mit einem Gewicht (320 kg) auf nassem Straßenbelag bestimmt.

In Bulgarien ist als Zielwert ein Reibungsbeiwertsminimum von 0,4 für das Straßennetz gültig.

Zustandserfassung (visuell):

Die visuelle Datenerfassung wird auch mit Dynatest RSP 5051 Mark II (siehe Abbildung 70) gemacht. Bei der Messung der Längs- und Querneigung wird auch eine visuelle Aufnahme der Straßenoberfläche durchgeführt.

In nachfolgender Abbildung 72 wird die Analyse der gesammelten Zustandsaufnahmen mittels Computersystem im Büro dargestellt.

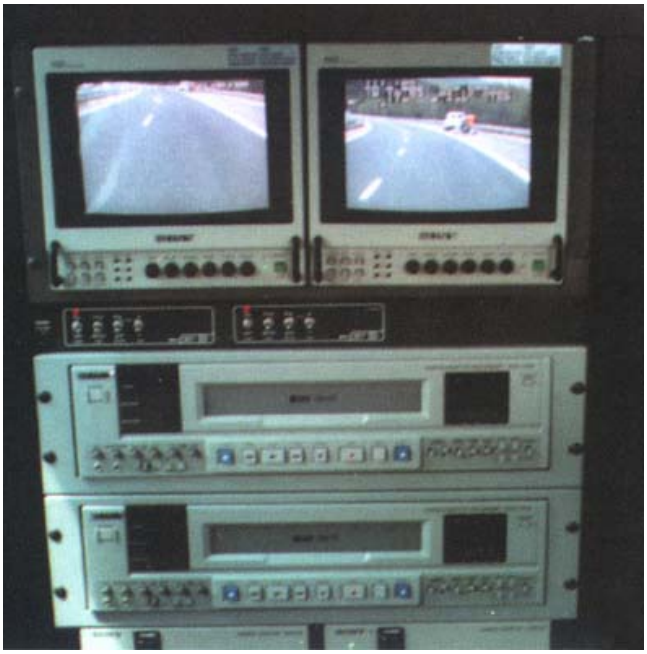


Abbildung 72: Computersystem zur Auswertung der visuellen Aufnahmen nach [26]

5.3 Methoden und Kriterien für die Bewertung des Straßenzustandes in Bulgarien

Es existieren drei Methoden, die allerdings derzeit fast nicht benutzt werden [28].

- Methode der Auslastungskoeffizienten

Diese Methode ist in Russland entwickelt worden und dient zur Bewertung des Straßenzustandes.

Es werden folgende Formeln angewendet:

$$K_1 = \frac{V_T}{V_V} \qquad K_1' = \frac{V_{max}}{V_V} \qquad K_1'' = \frac{V_{zul}}{V_V} \qquad K_1''' = \frac{S_T}{S_{zul}};$$

$$K_2 = \frac{E_T}{E_n} \qquad K_2' = \frac{L_{max}}{L_T};$$

$$K_3 = \frac{\varphi_T}{\varphi_{zul}}; \qquad K_4 = \frac{H_T}{H}; \qquad K_5 = \frac{N_T}{N_V};$$

Dabei bedeuten:

K_1 – Ebenheitskoeffizient

K_2 – Tragfähigkeitskoeffizient

K_3 – Griffigkeitskoeffizient

K_4 – Abnutzungskoeffizient

K_5 – Auslastungskoeffizient

V_T – tatsächliche Geschwindigkeit, [km/h]

V_{max} – maximale Geschwindigkeit, [km/h]

V_{zul} – zulässige Geschwindigkeit abhängig von Straßenzustand, [km/h]

V_V – verteilte Geschwindigkeit verschiedener Verkehrskategorien (PKW, LKW, LKW mit Anhänger usw.)

S_T – tatsächliche Ebenheit des Straßenbelags, [cm/km]

S_{max} – maximale Ebenheit, für verschiedene Straßenbeläge normiert, [cm/km]

E_T – tatsächlicher Verformungsmodul, [MPa]

E_N – notwendiger Verformungsmodul, [MPa]

L_{max} – maximale Oberbaubeanspruchung, [cm]

L_T – tatsächliche Oberbaubeanspruchung, [cm]

φ_T - tatsächlicher Reibungsbeiwert

φ_{max} - maximaler Reibungsbeiwert

H_T – tatsächlicher Verschleiß des Straßenbelags, [mm]

H – Dicke der Straßenoberfläche, die abgenutzt wird, [mm]

N_T – tatsächliche Verkehrsintensität

N_V – verteilte Verkehrsintensität verschiedener Verkehrskategorien (PKW, LKW, LKW mit Anhänger usw.)

Der Tragfähigkeitskoeffizient bewertet den Grundzustand der Oberbaukonstruktion. Die Untersuchungen von „Союздорнии“ (International Transport Academy) [29], MADI [30], HADI [31] zeigen, dass K_2 erfolgreich den Straßenzustand charakterisiert.

Der Griffigkeitskoeffizient bestimmt den Zustand der Fahrbahnoberfläche und spielt eine wichtige Rolle für Fahrkomfort und Fahrsicherheit.

Der Auslastungskoeffizient charakterisiert die Verkehrsbelastung und Leistungsfähigkeit der Straße. Wenn $K_5<1$ ist, dann ist die Straßen ausreichend dimensioniert. Wenn $K_5>1$ ist, wird eine Verstärkung der Straße benötigt.

Durch den Abnutzungskoeffizient kann der Verschleißzustand der Straßenoberfläche definiert werden. Dieser Koeffizient darf maximal einen Wert von 1 erreichen.

Mit dem Koeffizient K_1, erfunden von Prof. Birulq, kann man eine Bewertung der Straßen auf Grundlage der Verkehrbelastung durchführen. Bei maximaler Auslastung der Straßen wird K_1 ungefähr 1. Prof. Birulq hat den Koeffizient K_1 unter Bezugnahme auf das Zustandsmerkmal Ebenheit bestimmt, weil dieses Merkmal bis zu einem gewissen Grade die Geschwindigkeit der Fahrzeugen beeinflusst.

Mithilfe dieser Methode kann man nicht eine vollständige Darstellung des gesamten Straßenzustands bekommen, sondern einzelne Informationen über die verschiedenen Straßenabschnitte.

- Befahrbarkeitsindex (PSI), (Present Serviceability Index) [32]

Als Ergebnis verschiedener Experimente ist folgende Abhängigkeit der Befahrbarkeit von den Zustandsmerkmalen festgestellt worden.

$$PSI = 11{,}683 - 3{,}9 * \lg\overline{R} - 0{,}01\sqrt{3{,}08 * c + P} - 0{,}241 * RD^2$$

$\overline{R}$ - Ebenheit der Straße

C – Länge der Risse [m]

P – Straßenschäden [m^2]

RD – mittlere Tiefe der Straßenunebenheiten in Querrichtung [cm]

Bei einem PSI größer als 3,5 wird von einem in sehr guten Straßenzustand ausgegangen. Ergibt sich ein PSI kleiner als 1,5, ist der Straßenzustand schlecht.

Diese Methode stellt ein System für eine Bewertung des Straßenzustands dar, deren Abhängigkeiten experimentell erhalten wurden. Sie analysiert nicht das ganze Komplexsystem ausführlich, sondern ein Element der Straße - die Fahrbahnoberfläche.

- Qualimetrische Methode (Qualimetry Method)

Die Qualimetrische Methode ist eine statistische Methode für die quantitative Bewertung des Straßenzustands.

Unter quantitativer Bewertung in Qualimetrie versteht man eine Funktion zur Bestimmung der Qualität einer zu untersuchenden Produktion mit einer Kennziffer.

Das mathematische Modell für die Qualität kann als ein abstraktes System mit bestimmten Eigenschaften und unterschiedlichem Komplexitätsgrad betrachten werden. Dieses System wird durch zwei Parameter definiert. Es sind die entsprechenden Werte der relativen Kennziffer K_{ij} und des Lastkoeffizients der entsprechenden Kennziffer M_j zu bestimmen. Die Werte dieser Parameter ergeben einen Qualitätsindex für die Beurteilung der Eigenschaften der Produktion.

Der Straßenzustand wird durch die Gesamtheit verschiedener Eigenschaften (Fahrsicherheit, Fahrkomfort, Ökonomie usw.) bestimmt.

K_{ij} wird in Abhängigkeit von verschiedenen technischen Parametern der Geschwindigkeit definiert.

$$K_{ij} = \frac{\overline{V_{ij}} - V_{ij}^{min}}{\overline{V}_{ij}^{n} - V_{ij}^{min}}$$

$\overline{V}_{ij}$ - mittlere Geschwindigkeit eines Fahrzeugs auf der zu untersuchenden Strecke

$\overline{V}_{ij}^{n}$ - Normierungsgeschwindigkeit des Fahrzeugs

$\overline{V}_{ij}^{min}$ - Minimalgeschwindigkeit des Fahrzeugs

$$M_j = \frac{\frac{c_j}{T_j}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{c_j}{T_j}}$$

C_j – Finanzmittel für die Straßeninstandhaltung zwischen Instandsetzungsarbeiten

T_j – Zeit zwischen verschiedenen Instandsetzungsarbeiten

Durch die nächste Formel wird die Komplexinformation des Straßenzustands zusammengefasst.

$$R_i = \sum_{j=1}^{n} K_{ij} * M_j$$

M_j - Kennziffer für einzelne Eigenschaften (Griffigkeit, Tragfähigkeit, Längsebenheit usw.) der Straßen

Wenn R größer als 0,9 ist, brauchen keine Erhaltungsarbeiten durchgeführt werden, R<0,55 zeigt auf, dass eine Verstärkung anzuordnen ist.

In den letzten Jahren wurde in dem Zentrallabor für Straßen und Brücken (CRBL) in Sofia eine Software Road Data Base (RDB) zur Verfügung gestellt, die ähnlich wie das Pavement Management System in Österreich (VIAPMS_AUSTRIA) funktioniert.

In Abbildung 73 wird schematisch die Funktion der Software RDB dargestellt.

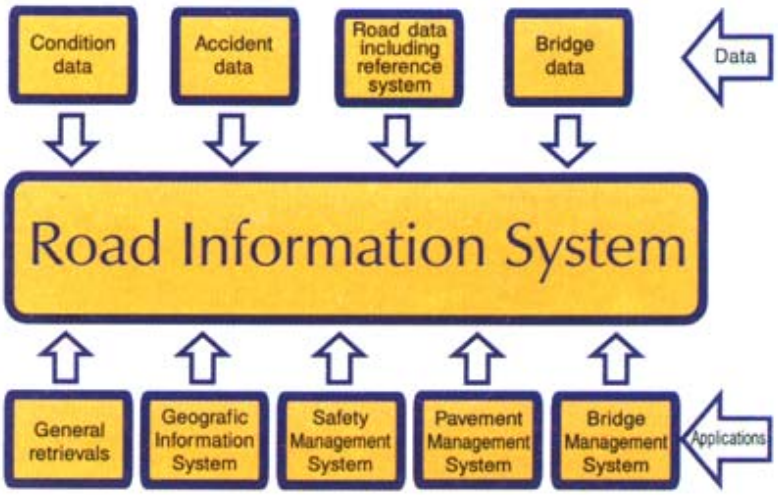


Abbildung 73: Funktionsschema der Software Road Data Base [26]

Dieses Straßeninformationssystem dient der Sammlung, Speicherung und Bewertung aller Erhaltungsdaten oder –informationen (ähnlich wie Datenbank in VIAPMS). Der Straßenerhalter hat die Möglichkeit, die verschiedenen Daten in verschiedene Management Systeme zu spielen und bestimmte Ergebnisse für die bestimmten Sphärentypen (Straßenoberfläche, Fahrsicherheit, Fahrkomfort, Straßenkonstruktionen) zu analysieren.

Mit Road Data Base kann man verschiedene Erhaltungsplanungsstrategien entwickeln und das Erhaltungsbudget für eine Periode von 5-10 Jahre optimieren. Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Informationen (für das Straßennetz, die Verkehrsbelastung, den Straßenaufbau etc.) im Pavement Management System können mit Road Data Base alle möglichen Erhaltungsvarianten für einen bestimmten Abschnitt angesehen werden. Dieses System funktioniert ähnlich wie das im Zuge dieser Arbeit beschriebene Pavement Management System (VIAPMS). Auf der Grundlage von zwei Verfahren (Reihungsverfahren und Optimierungsverfahren) wird auch im bulgarischen System durch die Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen die optimale Lösung gefunden.

Road Data Base wird aber fast nicht eingesetzt, weil die benötigten Informationen über das ganze Straßennetz nicht existieren. Erst vor einigen Jahren begann eine ausführliche Untersuchung und Datensammlung des Straßennetzes und eine Renovierung aller Straßenkonstruktionen.

Aus diesem Grund kann das Pavement Management System im bulgarischen Straßennetz derzeit nicht verwendet werden. Die verschiedenen Straßeninformationen wie Straßenzustand, Straßenaufbau, Verkehrsbelastung usw. können noch nicht ausführlich verfügbar gemacht werden.

Die Tendenz ist in Zukunft einen großen Teil des Straßennetzes zu untersuchen und zu analysieren. Die bulgarische Regierung muss das vorhandene Budget vergrößern, sodass die Möglichkeiten für die Verbesserung der Straßen größer werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Seit einigen Jahren wird in Österreich ein gutes systematisches Erhaltungsprogramm für Autobahnen, Schnellstraßen und ehemalige Bundesstraßen durchgeführt. Mit der Verwendung des Pavement Management Systems werden die Problemlösungen leichter entschieden und die optimalen Strategien für die Zustandserfassung und Bewertung gefunden.

Die Hauptziele der Straßenerhaltung sind es sichere, komfortable und leistungsfähige Straßen mit möglichst geringen Kosten zur Verfügung zu stellen. Die Straßenerhaltung kann man nach zwei Typen teilen:

- betriebliche Straßenerhaltung
- bauliche Straßenerhaltung

Die bauliche Straßenerhaltung besteht nochmals aus nachfolgenden Teilbereichen:

- Instandhaltung
- Instandsetzung
- Erneuerung

Pavement Management System (PMS) ist ein System, mit dem jene Erhaltungsmaßnahme gefunden wird, die unter bestimmten Randbedingungen die wirtschaftlich optimale Lösung darstellt. Dieses System analysiert auch die Eigenschaften einer Straßenkonstruktion unter der Annahme bestimmter Kriterien.

Es existierten die folgenden drei Elemente im PMS:

- Informationen über das betrachtete Straßennetz
- Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen
- Ausführung von Maßnahmen und Rückkopplung in den Entscheidungsprozess

Durch die Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen kann die optimale Lösung (Erhaltungsstrategie) aufgrund der vorhandenen Information gefunden werden. Es gibt zwei Verfahrungsmethoden:

- Reihungsverfahren
- Optimierungsverfahren

Das Reihungsverfahren ist das einfache Verfahren. Die Lösung wird in Form einer Reihung des betrachteten Abschnitts dargestellt. Bei diesem Verfahren wird keine Prognose des Straßenzustandes für die Zukunft erstellt.

Das Optimierungsverfahren kann als eine Kombination aller möglichen Erhaltungsvarianten unter bestimmten Randbedingungen für diejenige Lösung geben, bei der ein Parameter unter Berücksichtigung der zukünftigen Zustandsentwicklung zum Optimum wird.

Als Grundlage des Pavement Management Systems stehen unterschiedliche Informationen zur Verfügung:

- Informationen über das Straßennetz
- Information über die Verkehrsbelastung
- Information über den Straßenaufbau
- Informationen über den Straßenzustand
- Informationen über das Klima

Die Erfassung des Straßenzustandes ist sehr wichtig für eine gute Funktionsfähigkeit eines Pavement Management Systems. Man kann zwei Stufen unterteilen:

- Zustandserfassung
- Zustandsbewertung

Die Zustandserfassung kann in Abhängigkeit von der Aufnahme- oder Erfassungsmethodik folgendermaßen unterschieden werden:

- Visuelle Zustandserfassungen
- Sensitive Zustandserfassungen
- Messtechnische Zustandserfassungen

In den letzten Jahren hat sich in Österreich das multifunktionale Messsystem RoadSTAR bewährt. Mit diesem System können im fließenden Verkehr die wichtigsten Zustandsdaten sowie Trassierungsparameter erfasst werden.

Die Straßenzustandsbewertung ist Grunglage für die Festlegung des Erhaltungsbedarfs. Für die Bewertung des Straßenzustandes werden zwei Teilwerte definiert:

- Substanzwert: Teilwert zur Bewertung der strukturellen Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion
- Gebrauchswert: Teilwert zur Beschreibung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts der Oberbaukonstruktion.

Die Informationen über die Oberbaukonstruktion (Material, Alter, etc) und den Straßenzustand (Ebenheit, Griffigkeit, Oberflächenbeschaffenheit) werden zu Teilwerten und in der Folge zum Gesamtwert zusammengefasst.

Die Zustandsprognose des Straßenzustandes erfolgt über Zustandsprognosemodelle, die einen wesentlichen Parameter für die Analyse im PMS bilden. Sie stellen eine

Veränderung des Straßenzustandes über die Zeit in Abhängigkeit vom Alter oder der Verkehrsbelastung dar.

Anwendungsbeispiel für ein Teilstück einer Hochleistungsstraße:

In diesem Beispiel wird ein Überblick über die systematische Erhaltungsplanung für ein Stück einer Hochleistungsstraße mit bestimmter Länge (ungefähr 39 km Richtungsfahrbahnen) dargestellt. Es wird mit Hilfe der Analysesoftware VIAPMS™ eine optimale Erhaltungsstrategie ermittelt, die von aktuell erhobenen Informationen wie Straßenzustand, Verkehrsbelastung, etc abhängig ist.

Es wird der Analyseprozess der Software (Aufstellung der Datenbank, Erstellung des Maßnahmenkatalogs, Berechnung des Erhaltungsplanes, Analyse der Ergebnisse) ausführlich vorgetragen und die vorliegenden Informationen mit entsprechenden Ergebnissen in Tabellen- und Graphikform dargestellt.

Die erhobenen Informationen (Daten) sind folgende:

- Querschnittsdaten
- Verkehrsdaten
- Aufbaudaten
- Zustandsdaten

Der Maßnahmenkatalog stellt eine Liste möglicher Erhaltungsmaßnahmen mit zusätzlichen Informationen (Art der Maßnahme, Kosten, etc) dar.

Für jede einzelne Erhaltungsmaßnahme muss die Berechnung der Kosten in Abhängigkeit vom Zustand definiert werden. Die Initialisierung einer Erhaltungsmaßnahme bzw. –strategie erfolgt nur bei Überschreitung vom so genannten Warnwert von zumindest einem Zustandwert eines Elements. Dieser Wert gilt als unterste Grenze für die Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme.

Die Datenanalyse stellt jenen Prozess im System dar, der im Wesentlichen automatisiert im Rahmen der Anwendung der Software VIAPMS™ durchgeführt wird.

Die Auswertung der Zustandserfassung erfolgte mit der Analysesoftware, wobei folgende Budgetszenarien untersucht werden:

- Szenario „Basis Budget“: Budgetszenario mit jährlichen Geldmitteln von 30.000 €/Jahr
- Szenario „Minimum Budget“: Budgetszenario mit minimalen jährlichen Geldmitteln von 1,2 Mio. €/Jahr für die bauliche Instandsetzung
- Szenario „Mittel Budget“: Budgetszenario mit mittleren jährlichen Geldmitteln von 2,1 Mio. €/Jahr für die bauliche Instandsetzung
- Szenario „Maximum Budget“: Budgetszenario mit maximalen jährlichen Geldmitteln von 3,3 Mio. €/Jahr für die bauliche Instandsetzung
- Szenario „Extramaximum Budget“: Budgetszenario mit extramaximalen jährlichen Geldmitteln von 7,0 Mio. €/Jahr

Die Auswahl der Maßnahmen hängt grundsätzlich von den zur Verfügung stehenden Geldmitteln ab. Jene mit dem größten inkrementellen Nutzen-Kosten-Verhältnis werden im Rahmen der Optimierung zunächst als Erstlösung herangezogen.

Für die Auswertung wurde eine Maßnahmeperiode von 19 Jahren zu Grunde gelegt. Man muss die Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen am Ende der Maßnahmenperiode berücksichtigen.

Die Ergebnisse können grundsätzlich in zwei Gruppen unterschieden werden:

- Netzbezogene Ergebnisse: Aussage über Kosten- und Zustandsentwicklung, bezogen auf das gesamte untersuchte Straßennetz.
- Abschnittsbezogene Ergebnisse: Maßnahmenvorschläge für jeden untersuchten Straßenabschnitt

In erstem Szenario „Basis Budget" zeigt sich eine progressive Verschlechterung auf dem untersuchten Straßennetz. Nach dem Jahr 2012 wird ein großer Anstieg des Anteils in der Zustandsklasse 5 (sehr schlecht) ausgewiesen.

Das Szenario „Minimum Budget" weist einen geringen Anstieg der Zustandsklasse 5 auf und zeigt einen konstanten Anteil der Zustandsklasse 4 (ungefähr 70%) an der Gesamtverteilung. Man kann sagen, dass es über das gesamte Netz zu einer allmählichen Verschlechterung kommt.

Das Szenario „Mittel Budget" zeigt einen relativ konstanten Anteil der Zustandsklasse 4 (50%). Am Ende der Maßnahmenperiode ist der Prozentanteil der Zustandsklasse 4 und 5 immer noch mehr als 50%. Das bedeutet, dass keine Verbesserung des Gesamtnetzes möglich ist.

Beim Szenario „Maximum Budget" werden im Jahr 2015 nur kleine baulichen Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt. Der Prozentanteil der Zustandsklasse 2 (gut) bleibt in diesen Jahren konstant. Die Zustandsklasse 1 (sehr gut) zeigt einen Anstieg in Jahren 2010 – 2011 und in Jahren 2016 – 2022.

Bei der Berechnung des Szenarios „Extramaximum Budget" benutzt man ein erhöhtes Budget und untersucht die maximalen Investitionen für den untersuchten Straßenabschnitt. Im Jahre 2016 zeigt sich ein Schwerpunkt für die Erneuerung der Asphaltbefestigung.

Der Szenarienvergleich weist auf, dass in der Periode (2016) höhere Investitionen notwendig werden. Nur beim „Basis Budget" wird eine Vergrößerung des Anteils in Zustandsklasse 4 und 5 ausgewiesen. Das bedeutet, dass für dieses Scenario die untersuchte Hochleistungsstraße in sehr schlechten Zustand ist und das vorhandene Budget ungenügend für die Durchführung der notwendigen Erhaltungsmaßnahmen ist.

Anwendbarkeit des österreichischen PMS auf bulgarische Verhältnisse

In diesem Abschnitt wird eine kurze Beschreibung über das bulgarische Straßennetz, Größe, Länge und geographische Lage dargestellt. Auch wird eine kurze Information über den Zustand der Autobahnen und zukünftige Projekte bezüglich ihrer Entwicklung aufgewiesen. Durch die dargestellten Karten kann eine deutliche Vorstellung über den Zustand des bulgarischen Straßennetzes gewonnen werden.

Die notwendigen Daten für eine Analyse des bulgarischen Straßennetzes

- Tragfähigkeit der Straßenkonstruktion
- Ebenheit
- Griffigkeit
- Zustandserfassung (visuell und messtechnisch)

sind nicht flächendeckend vorhanden.

Die Methode für Messung und Bestimmung dieser Daten in Bulgarien sind nicht gleich mit dem österreichischen Verfahren, weil die Messsysteme in Bulgarien zum Teil alt sind. Seit einigen Jahren aber existiert einen Fortschritt in dieser Richtung. Das Zentrallabor für Straßen und Brücken (CRBL) in Sofia stellt eine Software Road Data Base (RDB) zur Verfügung, die ähnlich wie die Datenbank im Pavement Management System (VIAPMS) funktioniert. Dieses Straßeninformationssystem dient für die Sammlung und die Speicherung aller Erhaltungsdaten oder –informationen.

In Zukunft wird jedoch ein großer Teil des Straßennetzes untersucht und analysiert, um eine Verbesserung und Modernisierung der Straßenerhaltungstechnik zu erzielen.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Gliederung der Straßenerhaltung [2] 9
Abbildung 2: Systemelemente des Managementprozess der systematischen Straßenerhaltung [3] 11
Abbildung 3: Querschnittselemente [16] 17
Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Straßenaufbaus im Dammbereich [8] 19
Abbildung 5: Einflussfaktoren auf den Zustand einer Straße [7] 20
Abbildung 6: RoadSTAR [11] 22
Abbildung 7: Lasersensoren am RoadSTAR für die Erfassung der Längsebenheit [18] 23
Abbildung 8: Unebenheit in Längsrichtung [7] 23
Abbildung 9: Unebenheiten an Betonbefestigungen [7] 24
Abbildung 10: Ermittlung der Spurrinnentiefe und der theoretischen Wassertiefe [19] 25
Abbildung 11: Spurrinnentiefe an bituminöser Befestigung [7] 25
Abbildung 12: Spurrinnen [19] 26
Abbildung 13: Fächerförmige Anordnung der Querprofilsensoren [15] 26
Abbildung 14: Einzel- und Netzrisse in bituminösen Befestigungen [7] 27
Abbildung 15: Risse in Betonbefestigungen [7] 27
Abbildung 16: Einzelriss [17] 28
Abbildung 17: Netzrisse [17] 29
Abbildung 18: Risshäufung [18] 29
Abbildung 19: Oberflächenschäden [7] 30
Abbildung 20: Ausmagerung [17] 31
Abbildung 21: Abrieb [19] 31
Abbildung 22: Schlagloch [19] 32
Abbildung 23: Schwitzstelle [17] 32
Abbildung 24: Messfahrzeug RoadSTAR [6] 34
Abbildung 25: Darstellung der zwei Seitenkameras des RoadSTARs [15] 34
Abbildung 26: Darstellung einer visuellen Erfassung [15] 35
Abbildung 27: RoadSTAR [12] 36
Abbildung 28: Schematische Darstellung zur Bildung der Teilwerte und des Gesamtwertes bei Asphaltbefestigungen [23] 37

Abbildung 29: Ablauf der Zustandsbewertung nach [9] 38
Abbildung 30: Normierungsfunktion Spurrinnen Deutschland [9] 39
Abbildung 31: Normierungsfunktion für Spurrinnenstiefe in VIAPMS-AUSTRIA [2] 40
Abbildung 32: Schematische Darstellung der Beanspruchung des Straßenoberbaus durch die Verkehrslast [20] 41
Abbildung 33: Reduktionsfaktor nach [3] 42
Abbildung 34: Verhaltensfunktionen Zustandsmerkmal Risse nach [3] 43
Abbildung 35: Schematische Darstellung einer Optimierungskriterium [3] 45
Abbildung 36: Schematische Darstellung des Effektivitätsdiagramms [3] 45
Abbildung 37: Auswirkungen der Maßnahmengruppen [3] 46
Abbildung 38: Querschnittsdaten in der Software VIAPMS™ 48
Abbildung 39: Oberbaudaten in der Software VIAPMS™ 49
Abbildung 40: Messtechnische Erfassungsdaten in der Software VIAPMS™ 50
Abbildung 41: Beispiel für die Festlegung von Anwendungsbereichen nach [3] 52
Abbildung 42: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Basis Budget“ 55
Abbildung 43: Kostenverteilung für das Szenario „Basis Budget“ 56
Abbildung 44: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Minimum Budget“ 57
Abbildung 45: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Mittel Budget“ 59
Abbildung 46: Jährliche Investitionsverteilung bezogen auf die Erhaltungsmaßnahmen für das Szenario „Mittel Budget“ 60
Abbildung 47: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Maximum Budget“ 61
Abbildung 48: Kostenverteilung bezogen auf die Erhaltungsmaßnahmen für das Szenario „Maximum Budget“ 62
Abbildung 49: Zustandsentwicklung Gesamtwert für das Szenario „Extramaximum Budget“ 63
Abbildung 50: Kostenverteilung bezogen auf die Erhaltungsmaßnahmen für das Szenario „Extramaximum Budget“ 64
Abbildung 51: Darstellung des Szenarienvergleichs jährliche Investitionen 64
Abbildung 52: Längenanteil der Zustandsklasse 4 und 5 65
Abbildung 53: Längenanteil der Zustandsklasse 1 und 2 66
Abbildung 54: Darstellung des Ergebnisses in VIAPMS™ 67
Abbildung 55: Strategieliste in VIAPMS™ 67
Abbildung 56: Maßnahmenliste in VIAPMS™ 68

Abbildung 57: Effektivitätsdiagramm in VIAPMS™ 68
Abbildung 58: Prognosefunktionen in VIAPMS™ 69
Abbildung 59: Darstellung der internationalen Straßen [22] 71
Abbildung 60: Dichte des Straßennetzes [22] 73
Abbildung 61: Hauptstraßennetze in Bulgarien [22] 73
Abbildung 62: Autobahnnetz im Jahr 2005 [22] 74
Abbildung 63: Dichte der Autobahnnetze in Europa km/1000 km² [22] 75
Abbildung 64: schematische Darstellung der Oberbaubeanspruchung (Zug und Druck) [20] 76
Abbildung 65: Benkelmanbalken [25] 77
Abbildung 66: Darstellung einer Messung mit Benkelmanbalken [26] 77
Abbildung 67: Deflektometer „Lacroix“ [26] 78
Abbildung 68: Falling Weight Deflectometer (FWD) [26] 79
Abbildung 69: APL-25 [26] 80
Abbildung 70: The Road Surface Profiler [26] 80
Abbildung 71: Pendel [26] 81
Abbildung 72: Computersystem zur Auswertung der visuellen Aufnahmen nach [26] 82
Abbildung 73: Funktionsschema der Software Road Data Base [26] 86

LITERATURVERZEICHNIS

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

[2] LITZKA J.: Studienblätter Vorlesung Straßenbau und Straßenerhaltung. Ausgabe 2003/2004

[3] WENINGER-VYCUDIL A.: Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, Heft 14, 2003

[4] MAERSCHALK G.: Erstellung einer ablauffähigen Folge von Algorithmen für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen und der Mittelverwendung im Rahmen eines PMS. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 751, Bonn Bad Godesberg, 1997

[5] RVS 13.01.41: Straßeninstandsetzung, Asphaltstraßen, Grundlagen zur Zustands- und Maßnahmenbeurteilung. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 1988

[6] WENINGER-VYCUDIL A. und LITZKA J.: Systematische Straßenerhaltung auf Österreichs Landesstraßen. Gestrata Journal 114, Wien, 2006

[7] KRAUSE G.: Systematische Straßenerhaltung und Pavement-Management-System, Vorlesung Pavement Management System Teil 1. http://sep-maerschalk.de/, 2001

[8] RVS 03.08.63: Bautechnische Details, Oberbaubemessung. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 1998

[9] KRAUSE G.: Systematische Straßenerhaltung und Pavement-Management-System, Vorlesung Pavement Management System Teil 2. http://sep-maerschalk.de/, 2001

[10] WENINGER-VYCUDIL A.und GRAGGER K.: Neue Strategien für die bauliche Straßenerhaltung. Gestrata Journal 100, Wien 2003

[11] MAUER P.: Griffigkeitsmessungen mit dem RoadSTAR. www.evuonline.org/downloads.asp?ID=226, 2002

[12] SPIELHOFER R.: Der Road Surface Tester of Arsenal research (RoadSTAR) Technische Beschreibung und ausgewählte Fallstudien. 4. EVU-Verkehrssicherheitsseminar in Österreich, Wien, November 2005

[13] SAMEK G.: Pavement Management Systeme im kommunalen Straßenbau. Diplomarbeit, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, 2005

[14] PFEILER A.: Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstraßen – Der Einfluss der Polierresistenz feiner Gesteinskörnungen auf das Griffigkeitsverhalten von Asphaltdeckschichten. Heft 16, 2004

[15] MAUER P.: RoadSTAR – Erfassung des Straßenzustandes, des Straßenumfeldes und von Trassierungsparametern mit dem Road Surface Tester of arsenal research. http://arsenal.ac.at/, 2005

[16] RVS 03.03.31: Querschnittselemente Freilandstraßen, Verkehrs- und Lichtraum. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 2005

[17] KRAUSE G.: Systematische Straßenerhaltung und Pavement-Management- System, Straßenschäden, Bildergalerie. http://www.sep-maerschalk.de/, 2001

[18] FRUHMANN G.und MAUER P.: Die Ebenheit von Fahrbahndecken – ein wesentlicher Nutzerkomfort.
http://www.zement.at/Service/literatur/fileupl/betondecken_fruhmann_maurer 2005.pdf, 2005

[19] http://roadconsult.ch/, 2007

[20] LITZKA J.: Oberbaubemessung von Asphaltstraßen, Asphalt Handbuch Gestrata. Wien, September 2002

[21] WENINGER-VYCUDIL A.: Bewertung des Straßenzustandes im Vergleich zwischen Österreich und Deutschland. Vortrag in Rahmen des 55. Erfahrungsaustausches Bund-Länder, Köln, 2006

[22] ISCHEV J.: Bulgarische Straßen. Bulgarische Branchekammer „Straßen". Sofia, Mai 2005

[23] WENINGER-VYCUDIL A., SIMANEK P. und LITZKA J.: Praktische Anwendung von Kennzahlen der Straßenbefestigung im österreichischen PMS. http://pms-consult.at/, 2007

[24] LITZKA J. und HABERL J.: Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahn – Zielkonflikte und Optimierungsmöglichkeiten aus straßenbaulicher Sicht. Technische Universität Wien, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Oktober 2007

[25] LINDEMANN H.P.: Messsysteme, Benkelmanbalken. Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme. Zürich, 15.12.2006
http://www.ivt.ethz.ch/iv/measuring/benkelman

[26] MANCHEV V.: The Central Roads and Bridges Laboratory, Sofia. http://crbl-bg.net/default.htm, 2004

[27] WENINGER-VYCUDIL A. und LITZKA J.: Arbeitsanweisung zur Durchführung der visuellen Zustandserfassung 2005, unveröffentlich, Wien, 2005

[28] STEFANOV P.: Forschung und Methoden der verschiedenen Exploitationsbewertung der Straßen. Dissertation, Moskau, 1978

[29] Internationa lTransport Acamy. http://www.itamain.com/ita/members/cor1.htm, 20.02.2008

[30] Technische Universität Moskau, http://www.madi.ru/, 20.02.2008

[31] Technische Universität Harkov, http://www.khadi.kharkov.ua/, 20.02.2008

[32] Pavement Guide Interactive, http://training.ce.washington.edu/PGI/Modules/09_pavement_evaluation/09-2_body.htm, 20.02.2008